

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

Alyne Fontes Rodrigues de Melo

**TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM MUDAS DE *Enterolobium*
contortisiliquum (VELL.) MORONG (FABACEAE) PRODUZIDAS A PARTIR
DE SEMENTES HIDROCONDICIONADAS PARA PROJETOS DE
REGENERAÇÃO DA CAATINGA**

São Cristóvão

Sergipe – Brasil

2018

ALYNE FONTES RODRIGUES DE MELO

TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM MUDAS DE *Enterolobium contortisiliquum* (VELL.) MORONG (FABACEAE) PRODUZIDAS A PARTIR DE SEMENTES HIDROCONDICIONADAS PARA PROJETOS DE REGENERAÇÃO DA CAATINGA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado.

Co-Orientadora: Profa. Dra. Elizamar Ciríaco da Silva.

São Cristóvão

Sergipe – Brasil

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

- M528t Melo, Alyne Fontes Rodrigues de.
Tolerância ao déficit hídrico em mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (VELL MORONG (FABACEAE) produzidas a partir de sementes hidrocondicionadas para projetos de regeneração da caatinga / Alyne Fontes Rodrigues de Melo ; orientador Marcos Vinicius Meiado. – São Cristóvão, 2018.
93 f.: il.
- Dissertação (mestrado em Ecologia e Conservação)–
Universidade Federal de Sergipe, 2018.
1. Mudas. 2. Plantas. 3. Sementes. 4. Germinação. 5. Recuperação florestal. 6. Ecofisiologia. 7. Recursos hídricos. 8. Plantas da caatinga. I. Meiado, Marcos Vinicius, orient. II. Título.
- CDU 574.4:630*233

TERMO DE APROVAÇÃO

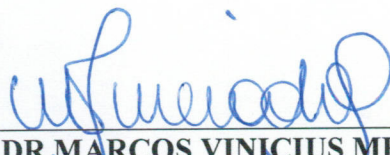
**TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM MUDAS DE *Enterolobium contortisiliquum*
(VELL.) MORONG (FABACEAE) PRODUZIDAS A PARTIR DE SEMENTES
HIDROCONDICIONADAS PARA PROJETOS DE REGENERAÇÃO DA CAATINGA**

por

ALYNE FONTES RODRIGUES DE MELO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

APROVADA pela banca examinadora composta por



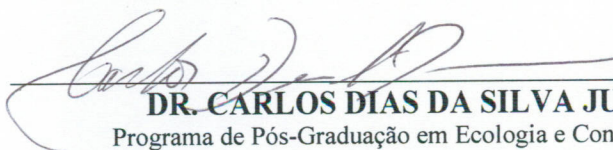
DR. MARCOS VINICIUS MEIADO

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da
Universidade Federal de Sergipe



DR. HUGO HENRIQUE COSTA DO NASCIMENTO

Universidade Federal de Alagoas



DR. CARLOS DIAS DA SILVA JUNIOR

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da
Universidade Federal de Sergipe

São Cristóvão/SE, 21 de fevereiro de 2018

Agradecimentos

“Transformar as adversidades em aprendizado. O obstáculo, em salto. O nó, em laço. O receio, em entrega. O medo, em amor.” E assim finalizo mais uma etapa da minha vida, preenchida por um sentimento imenso de gratidão. Ao meu Deus, que em Sua generosidade absoluta me concedeu privilégios que nem me considero merecedora. Por ter me enviado a esse mundo em uma família única, fundamental, onde eu encontro uma base sólida pra quando me sinto sem chão e por colocar no meu caminho pessoas de luz que tornam minha jornada aqui mais leve e feliz.

Meus pais não mediram esforços e sacrifícios para me proporcionar todas as oportunidades que tive, vocês são donos do meu amor incondicional e eterna gratidão. À minha avó paterna, que me deu lições valiosas, a mulher que me tornei é reflexo da sua educação e apesar da ausência física, até hoje se faz presente nas orações diárias que me ensinou. Minhas irmãs, meus exemplos de mulheres fortes e determinadas e meus irmãos, os verdadeiros homens da minha vida. Apesar de todas as brigas, o amor e proteção sempre será o legado que me deixarão. Sou muito grata por tê-los em minha vida.

Aos pontinhos de luz que me trazem paz e inspiração, meus sobrinhos, os mais lindos, carinhosos e maravilhosos que alguém poderia ter, não imagino minha vida sem eles e o que está pra chegar. Ao meu avô e avó (i.m.) maternos, por todo cuidado e paciência que sempre tiveram. Aos meus tios, tias e primos, todos muito carinhosos e presentes, cada um do seu jeito. Minha madrinha, que sempre foi uma segunda mãe. Minha cunhada sempre muito paciente e prestativa.

Ao meu orientador, que confiou em mim e concedeu o desafio de me lançar em algo totalmente novo e desconhecido pra mim. Uma oportunidade única e muito enriquecedora, muito obrigada pelo conhecimento transmitido e por ter permitido que eu fizesse parte da família LAFISE, a qual, apesar do contato restrito sempre me recebe de braços abertos nos melhores e mais divertidos eventos.

À minha co-orientadora, mulher e profissional admirável. A senhora foi meu Norte durante esse período, muito obrigada por me acolher com tanto carinho, por toda paciência e conhecimento compartilhado. Aos estagiários do LFEV, sem vocês este

trabalho não seria concluído, obrigada por abdicarem de seu tempo para me ajudar nos experimentos e pelas boas risadas que tornavam tudo mais fácil.

Aos colegas de turma, que em pouco tempo se tornaram tão especiais pra mim, compartilhar parte desse mestrado com vocês foi uma honra, espero que por mais que nossos caminhos se distanciem possamos sempre contar uns com os outros.

Minhas amigas e amigos, vocês são meu ponto de equilíbrio, que estão sempre presentes (perto ou longe), encorajando, incentivando e tornando os dias mais suaves. Vocês são peças fundamentais pra que eu tenha conseguido superar as fases mais difíceis.

Aos professores do PPEC/UFS, dedicados ao nosso crescimento profissional, sempre solícitos e dispostos a ajudar dentro e fora da sala de aula. Muito obrigada por terem sido pontos de apoio nesta caminhada. Aos funcionários e técnicos do DBI/UFS pelo auxílio e por serem sempre tão prestativos.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de mestrado e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento do projeto “Memória hídrica de sementes como nova alternativa para a restauração de ambientes degradados na Caatinga” (MCTI/CNPQ/Universal 14/2014) ao qual esta dissertação está vinculada.

“Sou o que sou pelo que nós somos”. Sem vocês nada disso seria possível, minha sincera gratidão!

Resumo Geral

O processo de embebição das sementes da Caatinga não ocorre de forma contínua devido à escassez e irregularidade das chuvas, além das altas temperaturas. Porém, essa hidratação descontínua pode favorecer a germinação e sobrevivência das plântulas nesse ambiente. Este trabalho avaliou o efeito do hidrocondicionamento de sementes sobre a germinação, crescimento e parâmetros ecofisiológicos de mudas sob déficit hídrico. Após passar pelo processo de superação de dormência tegumentar com a imersão em ácido sulfúrico por 60 minutos, as sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) [tamboril] foram submetidas a 0, 1, 2 e 3 ciclos de hidratação e desidratação (HD) e colocadas para germinar, dando origem a plântulas que, após o período de aclimação de 15 dias, foram submetidas a intervalos de suspensão de rega de sete (E7) e quatorze dias (E14), tendo seu crescimento em altura e diâmetro e número de folhas avaliados semanalmente. Quinzenalmente foi realizada a coleta de uma folha para análise dos parâmetros ecofisiológicos, como teor relativo de água (TRA), acúmulo de solutos (carboidratos, proteína e prolina). O potencial hídrico foliar foi medido aos 45 dias e ao final do experimento, que correspondeu a 75 dias. A germinação foi favorecida pelo hidrocondicionamento com um e dois ciclos HD, cujas sementes apresentaram maior velocidade, sincronia e menor tempo para germinar. A altura das plantas submetidas a 2C foi maior que as plântulas do tratamento controle. Apesar de, em situação de estresse hídrico, não ter havido diferença no crescimento, a passagem pelos ciclos HD conferiu algum tipo de vantagem que se propaga da semente até a fase seguinte. A espécie demonstrou de uma forma geral capacidade de tolerância ao déficit hídrico, ajustando-se osmoticamente, reduzindo potencial hídrico foliar e, assim, manteve o turgor das células. Em especial, as plantas 3C conseguiram, durante todo o experimento, manter o TRA das plantas estressadas igual às plantas controle através do acúmulo dos solutos osmoprotetores. O presente estudo confirmou que o hidrocondicionamento das sementes favorece a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas de *E. contortisiliquum* e pode ser utilizado como tratamento pré-germinativo para utilização da espécie em projetos de recuperação da Caatinga.

Palavras-chave: Memória hídrica, germinação, ecofisiologia, déficit hídrico, tolerância.

General Abstract

The process of seed imbibition in species of *Caatinga* dry forest does not occur continuously because of the scarcity and irregularity of the rains, besides the high temperatures. However, this discontinuous hydration may favor seedling germination and survival in this environment. This study evaluated the effect of seed hydropriming on germination, growth and ecophysiological parameters of plants under water deficit. After going through the process of overcoming of integument dormancy with immersion in sulfuric acid for 60 minutes, the *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) seeds were submitted to 0, 1, 2 and 3 cycles of hydration and dehydration (HD) and placed to germinate, resulting in plants which, after acclimation for 15 days, were subjected to suspension watering intervals of seven (E7) and fourteen days (E14) and their growth in height and diameter and number of leaves evaluated weekly. Biweekly was performed collecting a leaf for analysis of Ecophysiological parameters, such as relative water content (TRA), accumulation of solutes (carbohydrates, protein and proline). The leaf water potential was measured after 45 days and at the end of the experiment, corresponding to 75 days. Germination was favored by one and two hydropriming HD cycles whose seeds had higher speed and shorter timing to germinate. The height of the plants submitted to 2C was higher than the seedlings of the control treatment. Although, under water stress conditions, there was no difference in growth, the passage through HD cycles conferred some kind of advantage that propagates from the seed to the next phase. The species showed a general capacity of tolerance to drought, osmotic-adjusting, reducing leaf water potential and thus maintained the turgor of the cells. In particular, the 3C plants were able, during the whole experiment, to keep the TRA of the stressed plants equal to the control plants through the accumulation of the osmoprotective solutes. The present study confirmed that the hydropriming of the seeds favors the germination and the initial development of the *E. contortisiliquum* seedlings and can be used as pre-germinative treatment for the use of the species in *Caatinga* regeneration projects.

Keywords: Hydration memory, germination, ecophysiology, water deficit, tolerance.

Lista de Figuras

Artigo 1

Figura 1. (A) Temperatura e umidade relativa do ar (UR); (B) Déficit de pressão de vapor (DPV) durante o período experimental.....43

Figura 2. (A) Germinabilidade (%), (B) tempo médio de germinação (dias), (C) índice de sincronização e (D) velocidade média de germinação (dia^{-1}) de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) que passaram por 0, 1, 2 e 3 ciclos de hidratação e desidratação (HD). Letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....45

Figura 3. Altura das plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) oriundas de sementes que passaram nenhum ciclo (A), um ciclo (B) dois ciclos (C) e três ciclos (D) de hidratação e desidratação (HD) sob diferentes intervalos de suspensão de rega (Controle, E7 e E14). Plantas regadas diariamente (E), plantas regadas a cada sete dias (F) e plantas regadas a cada 14 dias (G) cujas sementes que passaram por 0, 1, 2 e 3 ciclos de HD. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....47

Figura 4. Diâmetro das plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) oriundas de sementes que passaram nenhum ciclo (A), um ciclo (B) dois ciclos (C) e três ciclos (D) de hidratação e desidratação (HD) sob diferentes intervalos de suspensão de rega (Controle, E7 e E14). Plantas regadas diariamente (E), plantas regadas a cada sete dias (F) e plantas regadas a cada 14 dias (G) cujas sementes que passaram por 0, 1, 2 e 3 ciclos de HD. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....49

Figura 5. Número de folhas das plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) oriundas de sementes que passaram nenhum ciclo (A), um ciclo (B)

dois ciclos (C) e três ciclos (D) de hidratação e desidratação (HD) sob diferentes intervalos de suspensão de rega (Controle, E7 e E14). Plantas regadas diariamente (E), plantas regadas a cada sete dias (F) e plantas regadas a cada 14 dias (G) cujas sementes que passaram por 0, 1, 2 e 3 ciclos de HD. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....50

Figura 6. Matéria seca da raiz (MSR), matéria seca da folha (MSF), matéria seca do caule (MSC), matéria seca total (MST) e relação raiz/parte aérea (R/PA) de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) sob diferentes intervalos de suspensão de rega (Controle, E7 e E14, intervalos de sete e quatorze dias entre as regas), cujas sementes que passaram por 0, 1, 2 e 3 ciclos de hidratação e desidratação (HD). Letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....52

Figura 7. Partição de biomassa em plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) sob diferentes intervalos de suspensão de rega (Controle, E7 e E14, intervalos de sete e quatorze dias entre as regas), cujas sementes que passaram por 0, 1, 2 e 3 ciclos de hidratação e desidratação (HD) Letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....54

Artigo 2

Figura 1. (A) Temperatura e umidade relativa do ar (UR); (B) Déficit de pressão de vapor (DPV) durante o período experimental.....73

Figura 2 – Teor Relativo de Água (TRA) em folhas de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) cujas plantas são oriundas de sementes hidrocondicionadas, sob diferentes situações de restrição hídrica com ciclos de sete (E7) e quatorze (E14) dias de interrupção de rega. Letras minúsculas iguais, os tratamentos hídricos não diferem entre si no dia de avaliação, letras maiúsculas iguais, não há

diferença significativa no mesmo ciclo ao longo dos dias, pelo teste de Tukey (P<0,05).....74

Figura 3 – Concentração de proteína em folhas de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) cujas sementes passaram por tratamentos de hidratação descontínua, sob diferentes situações de restrição hídrica com ciclos de sete (E7) e quatorze (E14) dias de interrupção de rega. Letras minúsculas iguais, os ciclos não diferem entre si no dia de avaliação, letras maiúsculas iguais, a concentração não difere significativamente no mesmo ciclo, pelo teste de Tukey (P<0,05).....77

Figura 4 - Concentração de carboidratos em folhas de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) cujas sementes passaram por tratamentos de hidratação descontínua, sob diferentes situações de restrição hídrica com ciclos de sete (E7) e quatorze (E14) dias de interrupção de rega. Letras minúsculas iguais, os ciclos não diferem entre si no dia de avaliação, letras maiúsculas iguais, a concentração não difere significativamente no mesmo ciclo, pelo teste de Tukey (P<0,05).....78

Figura 5 - Concentração de prolina em folhas de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) cujas sementes passaram por tratamentos de hidratação descontínua, sob diferentes situações de restrição hídrica com ciclos de sete (E7) e quatorze (E14) dias de interrupção de rega. Letras minúsculas iguais, os ciclos não diferem entre si no dia de avaliação, letras maiúsculas iguais, a concentração não difere significativamente no mesmo ciclo, pelo teste de Tukey (P<0,05).....80

Figura 6 – Concentração de solutos nas raízes de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) cujas sementes passaram por tratamentos

de hidratação descontínua, sob diferentes situações de restrição hídrica com ciclos de sete (E7) e quatorze (E14) dias de interrupção de rega. Letras minúsculas iguais, os tratamentos hídricos não diferem entre si no dia de avaliação, letras maiúsculas iguais, a concentração não difere significativamente no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).....81

Sumário

AGRADECIMENTOS.....	IV
RESUMO GERAL	VI
GENERAL ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
SUMÁRIO.....	XII
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
Recuperação florestal	14
A Caatinga	17
Ecofisiologia de plantas sob déficit hídrico	19
Germinação, hidrocondicionamento e memória hídrica em sementes	21
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	24
Referências Bibliográficas	27
ARTIGO 1	35
O hidrocondicionamento de sementes de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong melhora o desempenho das plântulas sob déficit hídrico?	36
Resumo.....	37
Introdução	38
Material e Métodos	40
Espécie selecionada	40
Hidrocondicionamento das sementes	41
Delineamento experimental	41
Análise do crescimento	42
Resultados	43
Germinação das sementes	44
Altura das plantas	45
Diâmetro do caule.....	48
Número de folhas.....	50
Produção de matéria seca.....	51

Partição de biomassa	53
Discussão	54
Referências bibliográficas	59
ARTIGO 2	62
Influência do hidrocondicionamento de sementes nas relações hídricas e produção de solutos osmoticamente ativos em mudas de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (vell.) Morong (Fabaceae) sob ciclos de seca intermitente.	63
Introdução	65
Material e Métodos	68
Espécie selecionada	68
Hidrocondicionamento das sementes	69
Delineamento experimental	69
Análise das relações hídricas.....	70
Determinação de solutos orgânicos osmoticamente ativos	71
Análises estatísticas	71
Resultados	72
Discussão	81
Referências bibliográficas	87

Fundamentação Teórica

Recuperação florestal

A supressão da vegetação dificulta os meios naturais de regeneração dos ecossistemas como, por exemplo, os bancos de sementes e plântulas, tornando a área degradada e com baixa resiliência. Neste contexto, a intervenção humana faz-se necessária como uma forma de acelerar o processo de revegetação dos ambientes degradados, restabelecimento dos processos ecológicos, como ciclos hidrológicos, produtividade e interações bióticas (CARPANEZZI *et al.*, 1990; STANTURF *et al.*, 2014).

No Brasil, a Lei nº 12.651/12 (Código Florestal) impõe a conservação ou restauração da vegetação nativa pré-existente em parte da área de todas as propriedades rurais. O passivo no país para implementação desta lei é de aproximadamente 21 Mha, dos quais cerca de 80% são referentes a Reservas Legais (RLs) (SOARES-FILHO *et al.*, 2014). No Estado de Sergipe, os assentamentos rurais existentes compreendem uma área total de 174.544 ha. De acordo com o que é proposto no Código Florestal, o INCRA deve reservar 20% da área dessas propriedades para a constituição de Reservas Legais. Sendo assim, aproximadamente 35 mil ha estão destinados a essa finalidade. A implantação do mosaico de áreas de Reserva Legal nos imóveis rurais, bem como a recuperação das matas ciliares irão funcionar como corredores ecológicos, favorecendo a conectividade dos fragmentos remanescentes (BRASIL, 2012; SERGIPE, 2012).

Para garantir o desenvolvimento sustentável é necessário que se possam conciliar as áreas produtivas com áreas de conservação de forma a provocar uma sinergia entre essas paisagens. Nesse sentido, a recuperação de áreas degradadas deverá aumentar a conectividade entre remanescentes naturais, priorizando o desenvolvimento

de tecnologias à custo mais baixo possível, tendo em vista que, muitas vezes, essas áreas estão em posse de pequenos proprietários, que dispõem de pouco ou nenhum recurso para investir no reflorestamento (FERREIRA, 2002; REIS *et al.*, 2014).

A definição de qual técnica adotar para recuperar a vegetação é um desafio, especialmente devido à escassez de estudos científicos que fundamentem a aplicação das diferentes técnicas existentes para cada ecossistema. Em determinadas situações pode haver fracasso na recomposição de uma área ou desperdício de recursos quando, por exemplo, a resiliência do ecossistema é elevada e a regeneração natural (de forma passiva) pode ser tão eficaz para recuperação do sistema quanto as técnicas ativas como o plantio de mudas, semeadura direta de espécies arbóreas, transposição de serapilheira etc (CAVA *et al.*, 2016; MELO *et al.*, 2004).

A semeadura direta vem se destacando como um método promissor, tanto pela viabilidade econômica da técnica, quanto pela efetividade na ocupação inicial em áreas agrícolas abandonadas, onde o poder de resiliência foi comprometido (BONILLA-MOHENO & HOLL, 2010; COLE *et al.*, 2010; ISERNHAGEN, 2011; SILVA, 2015), bem como a transposição da serapilheira, já que a mesma contém sementes dispersas pelas árvores que ajudam no enriquecimento das áreas a serem recuperadas. A serapilheira forma uma camada protetora que, além de fornecer nutrientes e matéria orgânica, favorece a retenção de água no solo e proporciona maior infiltração, reduzindo o escoamento superficial (SILVA, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2009).

Em uma área agrícola abandonada no Cerrado, Cava *et al.* (2016), conduziram a restauração ecológica comparando técnicas de semeadura direta, plantio de mudas e regeneração natural. Eles perceberam que as técnicas de restauração ativa não diferiram da regeneração natural quanto à recuperação da riqueza da comunidade. Em relação à recuperação da densidade da comunidade lenhosa, a semeadura em linhas foi mais

eficaz, confirmando que a introdução dos propágulos aceleraria a recuperação da estrutura do ecossistema. Neste sentido, o objetivo do projeto de restauração será fator decisivo na escolha da técnica mais apropriada, caso se queira conduzir a composição futura do ecossistema restaurado para fins de exploração econômica, como por exemplo no caso da Reserva Legal, a regeneração natural apresenta restrições, pois não permite prever as espécies que serão estabelecidas no futuro.

Engel & Parrota (2003) definiram como principais chaves do sucesso da recuperação florestal: a definição clara dos objetivos, o conhecimento do ecossistema que será recomposto, a identificação das barreiras ecológicas que impedem ou dificultam a regeneração natural e diminuem a resiliência do ecossistema e a integração entre recuperação ambiental e desenvolvimento rural. Aliado a isso, deve-se selecionar espécies adaptadas às condições de cada micro-habitat, considerando as exigências das espécies, para que estas sejam bem sucedidas no estabelecimento do processo sucessional (ARAÚJO, 2009). A escolha das espécies a serem utilizadas nos plantios é fator essencial para recuperar ecossistemas degradados com menor dissimilaridade, facilitando o fluxo entre áreas recuperadas e remanescentes e com isso fornecer condições para a posterior regeneração natural dos ecossistemas (FONSECA *et al.*, 2017).

Conforme propuseram Kageyama *et al.* (1989), o uso da sucessão ecológica na condução de uma regeneração artificial consiste, basicamente, na simulação de clareiras de diferentes tamanhos e a situação de não clareiras, fornecendo, dessa forma, condições adequadas às exigências de luz dos diferentes grupos ecológicos. Além de seguir os mesmos mecanismos da sucessão natural, o que garante seu sucesso em termos de sustentabilidade, a recomposição deve ser conduzida a partir de espécies nativas, pois há uma maior probabilidade da existência de polinizadores naturais e

animais dispersores de sementes, os quais são imprescindíveis para que as populações implantadas tenham condições de se reproduzir e, assim, dar continuidade ao processo de regeneração natural (KAGEYAMA & GANDARA, 2000).

A Caatinga

A Caatinga é um ecossistema semiárido exclusivamente brasileiro no qual as espécies apresentam características fisiológicas que conferem adaptações complexas e peculiares às condições ambientais únicas, tais como, altas temperaturas, associadas à alta intensidade luminosa, que irão provocar uma demanda evaporativa elevada e consequente dessecação do solo. Esse ecossistema ocorre em todos os estados da região Nordeste e em uma faixa do Norte de Minas Gerais. A estrutura da vegetação pode variar, principalmente, pela combinação entre a baixa precipitação pluvial e as características edáficas do ambiente, mas também conforme a topografia e distúrbios antrópicos (PRADO, 2003; TROVÃO, 2007; QUEIROZ, 2009; ANDRADE, 2017).

A Caatinga em sua maior extensão é caracterizada por um clima quente e semiárido, a precipitação média é de 750 mm por ano, porém, a chuva é mal distribuída, podendo um único mês registrar até 70% do total anual (ANDRADE *et al.*, 2010). Os totais de chuva variam muito de ano para ano e, em intervalos de dez a vinte anos, caem menos da metade da média, fenômeno conhecido como a “seca”. Em contrapartida, a evapotranspiração potencial é sempre alta, entre 1.500 e 2.000 mm por ano. O resultado é uma vegetação submetida à deficiência hídrica sazonal, agravada nos anos de seca, com clima do tipo BSh de acordo com a classificação de Köppen (VELLOSO *et al.*, 2002).

Em levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2009, a área de Caatinga era de 844.453 km², cerca de 10% da área territorial do Brasil (BRASIL, 2012). Quando comparadas a outras formações vegetais, as Florestas Tropicais Secas são as que mais apresentam perda de sua vegetação devido às atividades humanas (/POWERS *et al.*, 2011; PAZ *et al.*, 2016). A conversão de áreas de florestas em terras agropecuárias é a principal causa do desmatamento (ARAÚJO *et al.*, 2007; BENATTI, 2007).

No Estado de Sergipe, a cobertura vegetal nativa atinge aproximadamente 13% da área territorial, sendo que 3,8% dessas áreas são compostas por vegetação de Caatinga (IBGE, 2004). De acordo com o Mapeamento Florestal do Estado de Sergipe (SERGIPE, 2012) em relação à extensão das áreas de remanescentes de vegetação, poucas atingem mais de 750 ha de forma contínua e estima-se que cerca de 90% dos fragmentos têm área menor que 50 ha. Além da desvalorização do ecossistema, essa destruição observada é reflexo da extração abusiva dos recursos desse ambiente, práticas agrícolas inadequadas, pastoreio excessivo e queimadas. Consequentemente, o resultado tem sido de fragmentação severa, ocasionando vários prejuízos à biodiversidade e demais recursos ambientais associados.

Em estudo realizado por Fernandes *et al.* (2015) foi apresentada uma análise temporal do uso e da cobertura da terra na região semiárida de Sergipe, a partir de imagens de satélite dos anos 1992, 2003 e 2013, que serviram para quantificar as mudanças que ocorreram durante esse período. As principais mudanças observadas corresponderam às áreas de Caatinga, com diminuição de 22,2%, e de capoeira, com redução de 5,9%, entre 1992 e 2013. Observou-se, também, o aumento das áreas de pastagem (23,3%), de cultivos agrícolas (1,7%) e solo exposto (3,2%) em todo o período de análise do estudo. Os autores atribuíram esses resultados ao crescente

aumento da produção leiteira na região semiárida de Sergipe nos últimos anos, que vem pressionando a conversão de Caatinga em pastagens. Esses dados são um retrato da falta de conscientização dos proprietários sobre a importância das florestas e da falta de fiscalização por parte dos órgãos ambientais.

Ecofisiologia de plantas sob déficit hídrico

Plantas que se desenvolvem em ambientes áridos e semiáridos estão expostas a longos períodos de déficit de água no solo e, assim, precisaram, ao longo do tempo, desenvolver adaptações para tolerar a seca. Em resposta às mudanças no status de água da folha é comumente observada a redução na taxa fotossintética associada ao fechamento estomático, levando à redução da transpiração e da possível morte por dessecação (SILVA *et al.*, 2009). Segundo Taiz e Zeiger (2017), a deficiência de água na planta causa redução do turgor nas células, prejudicando, consequentemente, todos os processos que dependem diretamente dele, como a expansão foliar e o alongamento de raízes. As plantas acabam tornando-se mais vulneráveis às pragas e doenças quando submetidas à falta de água.

As plantas absorvem água enquanto seu potencial hídrico for menor do que o da água do solo. Quando há baixa disponibilidade de água, o potencial do solo torna-se mais negativo, porém, algumas plantas tolerantes à seca podem retardar a dessecação dos tecidos através de medidas osmorregulatórias, acumulando solutos orgânicos de baixo peso molecular, como açúcares, aminoácidos, compostos quaternários de amônia (betaína e glicina betaína) e proteínas solúveis (SAKAMOTO & MURATA, 2002; ASHRAF & FOOLAD, 2007). Conhecido como ajustamento osmótico (ZHU *et al.*, 2005; BUCCI *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2009), esse processo permite que o potencial

hídrico seja diminuído sem que haja decréscimo do turgor celular, possibilitando a continuação do alongamento celular e facilitando condutâncias estomáticas mais altas sob potenciais hídricos mais baixos. Tal ajuste osmótico sugere uma aclimação que aumenta a tolerância à desidratação (TAIZ & ZEIGER, 2017).

O acúmulo desses compostos nas folhas diminui o potencial hídrico foliar (Ψ_w), o que aumenta a capacidade de absorção de água das plantas e atenua os efeitos do déficit hídrico no conteúdo relativo de água da planta, mantendo a turgescência da célula próxima do nível ótimo (NEPOMUCENO *et al.*, 2001; PAGTER *et al.*, 2005). Esse ajustamento osmótico também permite que a fotossíntese e outras importantes atividades fisiológicas sejam mantidas, mesmo que baixas, possibilitando a redistribuição de carbono e nitrogênio (KOBATA *et al.*, 1992; PALTA *et al.*, 1994).

Em geral, o déficit hídrico interfere na eficiência com que os fotoassimilados são convertidos para o desenvolvimento de partes novas na planta. Essa redução na assimilação de carbono diminui a síntese de trioses fosfatadas, resultando na redução ou na paralisação do crescimento. Nesse caso, é comum que o crescimento limite-se ao sistema radicular, numa estratégia para absorver água em horizontes mais profundos do solo (KOZLOWSKI & PALLARDY, 1997; MOURA *et al.*, 2016).

Tendo em vista o desenvolvimento de técnicas que reduzam ao máximo os custos dos projetos de restauração, faz-se necessário conhecer as adaptações bem-sucedidas de espécies florestais que sejam resistentes às condições estressantes da Caatinga. Embora a adaptabilidade e tolerância ao estresse hídrico sejam estratégias intrínsecas de diferentes espécies vegetais, é importante que sejam desenvolvidos estudos sobre atividade ecofisiológica que permitam o entendimento de como essas plantas sobrevivem e determinem suas estratégias evolutivas (TROVÃO, 2007; SCALON *et al.*, 2011).

Germinação, hidrocondicionamento e memória hídrica em sementes

A germinação das sementes é iniciada por uma sequência de eventos fisiológicos controlados por fatores externos (temperatura, disponibilidade de água e de oxigênio) e internos (inibidores e promotores da germinação) às sementes e compreende o processo que inicia com a retomada do crescimento pelo embrião das sementes, desenvolvendo-se até a formação de uma plântula com todas as estruturas e capaz de nutrir-se por si só (KRAMER E KOZLOWSKI, 1972; NASSIF *et al.*, 1998).

A germinação é composta por três fases que consistem na embebição (fase I) na qual a absorção de água é movida pelo gradiente de potencial hídrico entre a semente; Ativação dos processos metabólicos necessários para o crescimento do embrião (fase II), nesta fase há pouca ou nenhuma absorção de água, pois as células das sementes não podem mais se expandir; E a iniciação do crescimento do embrião (fase III) havendo a retomada da absorção de água devido ao alongamento embrionário e protrusão radicular, nesta fase as sementes perdem a sua tolerância a desidratação (BORGHETTI, 2004, CASTRO *et al.*, 2004). A duração de cada fase varia de acordo com as características da semente, como o tamanho, a permeabilidade do tegumento e, também, das condições externas, como temperatura e composição do substrato (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

A água é o fator de maior influência sobre o processo de germinação, porém, muitas espécies apresentam um tegumento impermeável, que impede que a semente passe pelo processo de embebição, denominada dormência física ou tegumentar, que é o tipo de dormência de sementes mais estudado no ecossistema Caatinga (NASSIF *et al.*, 1998; MEIADO *et al.*, 2012). Apesar de impedir a germinação, a dormência é uma adaptação para a sobrevivência das espécies em longo prazo, pois geralmente faz com

que as sementes mantenham-se viáveis por maior período de tempo, sendo quebrada em situações especiais. Entre os processos mais comuns para superação da dormência de sementes estão a escarificação química, escarificação mecânica, estratificação fria e quente-fria, choque térmico, exposição à luz intensa, imersão em água quente e embebição em água fria (KRAMER & KOZLOWSKI, 1972; FOWLER & BINCHETTI, 2000).

As áreas que sofrem perturbações constantes apresentam bancos de sementes adaptados aos tipos de perturbações sofridas. Espécies de Cerrado, por exemplo, que são submetidas a incêndios frequentes, apresentam sementes enterradas no solo com grande capacidade de germinação após o fim do fogo (VIEIRA & REIS, 2003). Em ambientes áridos e semiáridos, a hidratação descontínua é um processo que ocorre naturalmente em sementes, no qual, o período que a água está disponível para a embebição é breve (LIMA & MEIADO, 2017).

Devido à irregularidade das chuvas e altas temperaturas, as sementes da Caatinga têm água disponível para embebição por um curto período, pois a evaporação da água do solo ocorre mais rapidamente nas camadas mais superficiais (GUTTERMAN, 1993; KIGEL, 1995). Por esse motivo, supõe-se que a embebição das sementes não seja contínua nesses ecossistemas, ocorrendo ciclos de hidratação e desidratação (DUBROVSKY, 1998). Essa hidratação descontínua e a disponibilidade de água por intervalos de tempo diferenciados exercem um papel importante na persistência e dinâmica das plantas nestes ambientes (TOBE *et al.*, 2001; REN & TAO, 2003, MEIADO, 2013). Há evidências de que as plantas são passíveis de alterar sua fisiologia e metabolismo em resposta à experiência anterior (BRUCE *et al.*, 2007).

De acordo com Dubrovsky (1996; 1998), a hidratação descontínua proporciona às sementes um elevado índice de sobrevivência durante a dessecação, demonstrando

que essas sementes podem apresentar uma “memória hídrica”, tal fato, ocasionado pelo processo de embebição, o qual preserva as características resultantes da hidratação prévia e ativa genes específicos da planta relacionados à tolerância aos estresses ambientais. Dentre as principais vantagens atribuídas à “memória hídrica” e aos ciclos de hidratação e desidratação em sementes pode-se destacar o elevado índice de sobrevivência durante a dessecação e o aumento significativo na germinabilidade e na velocidade média de germinação (DUBROVSKY, 1996; 1998; RITO *et al.*, 2009; MEIADO, 2013). Bruce *et al.* (2007) mencionaram mudanças genéticas e acúmulo de proteínas sinalizadoras ou fatores de transcrição como mecanismos para tal "efeito memória".

O hidrocondicionamento consiste em submeter as sementes à hidratação em água. O controle da quantidade absorvida é feito pelo tempo que a semente é deixada embebendo (Dubrovsky 1996; 1998). Essa quantidade de água absorvida não deve permitir que as sementes ultrapassem a fase II do padrão trifásico de embebição e atinjam a fase III, que corresponde à protrusão da radícula. Em seguida, são submetidas à secagem que irá interromper os processos metabólicos (PEIXOTO *et al.*, 2002). Portanto, conhecer a curva de embebição, ou seja, o tempo que a semente leva para completar a germinação é fundamental para determinar o melhor tempo de aplicação dos ciclos de hidratação e desidratação (HD).

Li *et al.*, (2017) avaliaram o efeito do estresse térmico, hídrico e salino em sementes de *Medicago sativa* (alfafa), que haviam sido hidrocondicionadas. Seus resultados mostraram claramente que o hidrocondicionamento aumentou significativamente a taxa de germinação das sementes a -0,3 e -0,6 MPa. Além disso, aumentou significativamente o comprimento das plântulas em relação àquelas cujas sementes não passaram pelo ciclos de hidratação e desidratação.

O déficit hídrico durante diferentes estádios do desenvolvimento do vegetal ativa vários processos fisiológicos nas plantas, provocando mudanças no seu desenvolvimento (VALLIYODAN & NGUYEN, 2006). No entanto, o recrutamento e o desenvolvimento das plântulas podem apresentar maior vigor e crescimento, quando oriundas de sementes submetidas a ciclos de hidratação e secagem, ou seja, os ciclos de HD podem não somente favorecer a germinação mas também as diferentes fases do ciclo de vida das espécies arbóreas da Caatinga (MEIADO, 2013). Em estudo realizado por Hora & Meiado (2016) com *Myrcodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae), espécie nativa de ampla ocorrência, as sementes submetidas a ciclos de hidratação e desidratação apresentaram maior velocidade, menor tempo e maior sincronia de germinação, o que acarretou em um desenvolvimento mais rápido de folhas das plântulas.

Os benefícios que os ciclos de HD proporcionam às sementes podem variar entre as espécies e especialmente entre as populações (LIMA & MEIADO, 2017), por isso, a importância de estudos envolvendo esta técnica a fim de identificar as espécies nativas que possuem essa característica de memória e, com isso, contribuir para redução de custos e mortalidade das mudas em projetos de Restauração Ecológica da Caatinga.

***Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong**

A espécie escolhida para o presente estudo foi *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae), conhecida popularmente como tamboril, timbaúva ou orelha-de-negro. É uma espécie heliófita, seletiva, higrófito, pioneira, presente em várias formações florestais, com ocorrência nos estados do Pará, Maranhão e Piauí até o Rio Grande do Sul. Ocorre em muitos tipos de solo, tanto nos de baixa como nos de alta fertilidade e, na fase adulta, atinge cerca de 15 metros de altura. A dispersão da espécie

é diplocórica (barocórica e zoocórica) e as sementes são predadas por vários insetos (MEIADO *et al.*, 2013). Sendo uma espécie pioneira, possui rápido crescimento e se desenvolve bem em ambientes com alta incidência luminosa. Esta espécie é adequada para uso em áreas abertas e atualmente bastante utilizada em reflorestamentos de áreas degradadas de plantios mistos (LIMA, 2013; LORENZI, 2008; SILVA, 2015).

A propagação do *E. contortisiliquum* via sementes é lenta e desuniforme devido ao mecanismo de dormência (BARRETO & FERREIRA, 2011). Conforme Lêdo (1977), não foi constatada a presença de inibidores de germinação nas estruturas, concluindo que a dormência é causada pela impermeabilidade do tegumento à água. O autor ainda afirmou que, dentre os tratamentos para superação da dormência tegumentar, a imersão em ácido sulfúrico é o mais efetivo.

Entre as espécies comumente destinadas à recuperação de áreas degradadas, o *E. contortisiliquum* se destaca devido ao seu rápido crescimento, pois, em dois anos, o indivíduo pode atingir mais de quatro metros (LIMA *et al.*, 2016). Essa espécie possui a capacidade de adquirir parte do nitrogênio via simbiose com bactérias diazotróficas através da nodulação, o que confere uma vantagem adaptativa em relação às espécies não nodulíferas (SOUSA *et al.*, 2016).

Sendo uma espécie de ocorrência na Caatinga, o *E. contortisiliquum* deve possuir características que promovam tolerância aos períodos de seca. Alguns estudos nesse sentido vêm sendo realizados como, por exemplo, por Hebling (1997) que verificou que sementes de *E. contortisiliquum* possuem um elevado limite de tolerância à seca, situado entre $-1,6$ e $-1,8$ MPa. Lúcio *et al.* (2017) aplicaram situações de estresse severo e moderado em plântulas de *E. contortisiliquum* e perceberam um pequeno efeito da restrição de água na partição de biomassa, quase não havendo inibição do crescimento. A partir dos resultados, os autores puderam inferir que se trata

de uma espécie que consegue manter maior estado de água nas células sob restrição, mas não investindo mais em raízes ou caules. Os mecanismos que o *E. contortisiliquum* possui para manter o alto estado da água nos tecidos ainda precisam ser entendidos e elucidados.

Um estudo realizado por Silva e Nogueira (2003) no qual foram aplicados tratamentos de restrição hídrica, as plantas de *M. caesalpiniiifolia* e *E. contortisiliquum* aumentaram e mantiveram os valores de Resistência difusiva (R_s) durante todo o período de estresse, que caracteriza uma estratégia para economizar a água existente no solo.

Apesar do seu valor para recuperação de áreas degradadas, o *E. contortisiliquum* está envolvido em casos de intoxicação em bovinos e caprinos, onde a maioria dos surtos conhecidos ocorreu no Sul do país (GRECCO *et al.*, 2002; BENÍCIO *et al.* 2007; MENDONÇA *et al.*, 2009; LEMOS *et al.*, 2011). No Nordeste, poucos casos isolados foram identificados (BENÍCIO *et al.* 2007; BEZERRA *et al.*, 2012). Em Pernambuco, um estudo realizado por Olinda *et al.* (2015) diagnosticou fotossensibilização hepatógena causada pela ingestão de grande quantidade de favas de *E. contortisiliquum* pelos bovinos, que apresentaram sinais clínicos de fotossensibilização, aliado a valores elevados na dosagem das enzimas hepatocelulares e lesões histológicas. Em apenas seis dias de pastejo, 14 animais ficaram doentes e, posteriormente, morreram dois (OLINDA *et al.*, 2015).

Por sua vez, o *E. contortisiliquum* vem sendo testado em casos de fitorremediação de locais contaminados por metais. De acordo com Millaleo *et al.* (2010) é possível que esta espécie apresente algum mecanismo de desintoxicação ou de imobilização. Em estudo realizado por SILVA *et al.* (2016), a alta dose de cobre necessária para reduzir a relação altura/diâmetro, indica que o *E. contortisiliquum* é uma

espécie que se desenvolve melhor em solos contaminados com cobre, em relação às demais testadas no trabalho. Os autores afirmam que o *E. contortisiliquum* demonstra ser uma espécie que se adapta ao crescimento em doses altas de cobre, já que, provavelmente, esse elemento químico fica retido nas raízes, não sendo suficiente para afetar a cadeia transportadora de elétrons do fotossistema I.

A utilização do hidrocondicionamento de sementes já é bastante difundida para espécies agronômicas, visando o melhorar o desempenho destas em campo. Alguns estudos atestaram benefícios na germinabilidade, sincronia, redução do tempo médio, maior velocidade de germinação e também no vigor em diversas espécies como melão, couve-flor, maxixe e soja (ARAUJO, 2011; GIURIZATTO, 2006; KIKUTI e MARCOS FILHO, 2009; PAIVA *et al.*, 2012;). No entanto, para as espécies florestais nativas a aplicação dessa técnica ainda é recente e poucos estudos são encontrados na literatura sobre o efeito dos ciclos de hidratação e desidratação na germinação e desenvolvimento em campo. Sendo *E. contortisiliquum* uma espécie que comprovadamente possui características de tolerância às condições estressantes da Caatinga, é possível que o hidrocondicionamento das sementes favoreça não somente fatores da germinativos como também o desenvolvimento inicial das plântulas.

Referências Bibliográficas

ANDRADE, E. M. A Floresta Tropical Seca, Caatinga: As certezas e incertezas das águas. **TRIM**, 12, pp. 11-20, 2017.

ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. O semiárido cearense e suas águas. In: Andrade et al. (eds), O Semiárido e o manejo dos recursos naturais. 1ed. **Fortaleza: Imprensa Universitária**, pp.71-94, 2010.

ARAÚJO, E. E.; CASTRO, C. C.; ALBUQUERQUE, U. P. Dynamics of Brazilian caatinga – A review concerning the plants, environment and people. **Functional Ecosystems and Communities**, v.1, p.15-28, 2007.

ARAUJO, G. M. Matas ciliares da caatinga: florística, processo de germinação e sua importância na restauração de áreas degradadas. Dissertação, (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Biologia, 2009.

ARAÚJO, P. C.; TORRES, S. B.; BENEDITO, C. P.; PAIVA, E. P. Condicionamento fisiológico e vigor de sementes de maxixe. **Revista Brasileira de Sementes**, v 33, n 3, 2011.

ASHRAF, M., FOOLAD, M. R. Roles to glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**. v. 59, p.206-216, 2007.

BARRETTO, S. S. B. & FERREIRA, R. A. Aspectos morfológicos de frutos, sementes, plântulas e mudas de Leguminosae Mimosoideae: *Anadenanthera colubrina* (Vellozo) Brenan e *Enterolobium contortisiliquum* (Vellozo) Morong. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 33, nº 2 p. 223 - 232, 2011.

BENATTI, P. Mudanças climáticas: e tempo de agir. In: FÓRUM LATINO AMERICANO SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO – MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 6, Belo Horizonte, 2007.

BENÍCIO, T. M. A. NARDELLI, M. J.; NOGUEIRA, F. R. B.; ARAÚJO, J. A. S.; RIET-CORREA, F. 2007. Intoxication by the pods of *Enterolobium contortisiliquum* in goats, p.80-85. In: Panter K.E., Wierenga T.L. & Pfister J.A. (Eds), Poisonous Plants: global research and solutions. **CABI Publishing**, Wallingford, Oxon, UK, 2007.

BEZERRA, C. W. C.; MEDEIROS, R. M. T.; RIVERO, B. R. C.; DANTAS, A. F. M. & AMARAL, F. R. C. Plantas tóxicas para ruminantes e equídeos da microrregião do cariri cearense. **Ciência Rural**, 42:1070-1076, 2012.

BORGHETTI, F. Dormência embrionária. In: FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. (Org.). Germinação: do básico ao aplicado. Porto Alegre: **Artimed**, 2004, p.109-123.

BRASIL, 2012. **Código Florestal**. Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 01 abril 2017.

BRUCE, T. J. A., MATTHES, M. C., NAPIER, J. Á., PICKETT, J. A. Stressful “memories” of plants: Evidence and possible mechanisms. **Plant Science**. V. 173, p.603–608, 2007.

BONILLA-MOHENO, M. & HOLL, K. D. Direct seeding to restore tropical mature-forest species in areas of slash-and-burn agriculture. *Restoration Ecology* 18: 438-445, 2010.

BUCCI, S.J.; SCHOLZ, F.G.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F.C.; FRANCO, A.C.; ZHANG, Y. & HAO, G.Y. Water relations and hydraulic architecture in Cerrado trees:

adjustments to seasonal changes in water availability and evaporative demand. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. v. 20, p.233-245, 2008.

CARPANEZZI, A. A., COSTA, L. D. S., KAGEYAMA, P. Y., & CASTRO, C. D. A. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais. In *Congresso Florestal Brasileiro*. 6 . **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura. 1990.

CARVALHO, N.M. & NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4.ed. Jaboticabal: **FUNEP**, 588p. 2000.

CASTRO, R.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.M. Desenvolvimento de sementes e conteúdo de água. In: FERREIRA, A.G. & BORGHETTI, F. (Orgs.). *Germinação: do básico ao aplicado*. 1 ed. Porto Alegre: **Artmed**, cap. 3, p. 69-92. 2004.

CAVA, M. G. B.; ISERNHAGEN, I.; MENDONÇA, A. H; DURIGAN, G. Comparação de técnicas para restauração da vegetação lenhosa de Cerrado em pastagens abandonadas. **Hoehnea**, 43(2): 301-315, 2016.

COLE, R. J. HOLL, K. D.; ZAHAWI, R. A. Seed rain under tree islands planted to restore degraded lands in a tropical agricultural landscape. *Ecological Applications*, Washington, v. 20, n. 5, p. 1255-1269, July 2010.

DUBROVSKY, J.G. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. **American Journal of Botany**, v. 83, p.624-632, 1996.

DUBROVSKY, J.G. Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactus species of the Sonoran Desert. **Journal of the Torrey Botanical Society**. v.125, p.33-39, 1998.

ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: Kageyama, P.Y.; Oliveira, R.E.; Moraes, L.F.D.; Engel, V.L.; Gandara, F.B. (eds.) **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. FEPAF, Botucatu. 340p. 2003.

FERNANDES, M. R. M.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q.; FERNANDES, M. M. Mudanças do Uso e de Cobertura da Terra na Região Semiárida de Sergipe. **Floresta e Ambiente**. 22(4): 472-482, 2015.

FERREIRA, R. A., SANTOS, P. L., ARAGÃO, A. G. D., SANTOS, T. I. S., SANTOS NETO, E. M. D.; REZENDE, A. M. D. S. Semeadura direta com espécies florestais na implantação de mata ciliar no Baixo São Francisco em Sergipe. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 81, p. 037-046, 2009.

FOWLER, J. A. P. & BIANCHETTI, A. Dormência em sementes florestais. Colombo: **EMBRAPA-Florestas**, doc. 40, 2000.

FONSECA D. A.; BACKES, A. R.; ROSENFELD, M. F.; OVERBECK, G. E.; MÜLLE, S. C. Avaliação da regeneração natural em área de restauração ecológica e mata ciliar de referência. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 521-534, 2017.

GIURIZATTO, Maria Izabel Krüger. Physiological quality of soybean seeds submitted to the hydro conditioning. 2006. 46 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Da Grande Dourados, Dourados, 2006.

GRECCO, F. B.; DANTAS, A. F.; RIET-CORREA, F.; LEITE, C. G.; RAPOSO, J. B. Cattle intoxication from *Enterolobium contortisiliquum* pods. **Vet. Hum. Toxicol.** 44:160-162, 2002.

GUTTERMAN, Y. Seed germination in desert plants. **Springer**, New York, 1993.

HEBLING, S.A. Aspectos ecofisiológicos da germinação de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Veloze) Morong. São Carlos, 1997. 143p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, 1997.

IBGE - Mapa de Vegetação do Brasil. 2004.

ISERNHAGEN, I.; GUERIN, N. Avanços e próximos desafios da semeadura direta para restauração ecológica. In: BARBOSA, L.M. (Coord.) SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA, 6., 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto de Botânica – SMA. p.201-208, 2011.

KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A.; CARPANEZZI, A. A. Implantação de matas ciliares: Estratégia para auxiliar a sucessão secundária. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989. **Anais...** Fundação Cargill. 335p.

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B. Revegetação de Áreas Ciliares. In: RODRIGUES, R. R. & LEITÃO FILHO, H. F. eds **Matas Ciliares: Estado Atual do Conhecimento**. 320 p. 2000.

KIGEL, J. Seed germination in arid and semiarid regions. In: KIGEL, J.; GALILI, G. (Eds). **Seed development and germination**. Marcel Dekker, Inc, New York, cap. 26, p. 645-699, 1995.

KOBATA, T., PALTA, J.A. & TURNER, N.C. Rate of development of postanthesis water deficits and grain filling in spring wheat. **Crop Science**, 32:1238-1242, 1992.

KOZLOWSKI, T. T. & PALLARDY S. G. Physiology of Woody Plants Biological techniques series. **Academic Press**, p. 411, 1997

KRAMER, Paul J. & KOZLOWSKI, T. Fisiologia das árvores. Lisboa: **Fundação Calouste Gulbenkian**, 745 p. 1972.

LEMO, R. A. A.; GUIMARÃES, E. B.; CARVALHO, N. M.; NOGUEIRA, A. P. A.; SANTOS, B. S.; SOUZA, R. I. C.; CARDINAL, S. G.; KASSAB, H. O. Plant Poisonings in Mato Grosso do Sul, p.68-72. In: Riet-Correa F., Pfister J., Schild A.L. &

Wierenga T. (Eds), Poisoning by Plants, Mycotoxins, and Related Toxins, **CAB International**, Wallingford, U.K, 2011.

LI, R.; MIN, D.; CHEN, L.; CHEN, C.; HU, X. Hydropriming accelerates seed germination of *Medicago sativa* under stressful conditions: A thermal and hydrotim model approach. **Legume Research**, 40(4) 2017.

LIMA, D. D. *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. Páginas 40-41 In: SIQUEIRA FILHO, J. Á.; MEIADO, M. V.; RABBANI, A. R. C.; SIQUEIRA, A. A.; LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. **Instituto Plantarum de Estudos da Flora**. v. 2. 1998.

LIMA, L. K. S.; MOURA, M.C. F.; SANTOS, C. C.; DUTRA, A. S. BELMONT, K. P.C. Desenvolvimento de *Enterolobium contortisiliquum* Vell. Morong em diferentes substratos alternativos. **Revista Biociências**, v. 22, n. 1, p. 24-38, 2016.

LIMA, A. T. & MEIADO M. V. Discontinuous hydration alters seed germination under stress of two populations of cactus that occur in different ecosystems in Northeast Brazil. **Seed Science Research**, 27, 292–302, 2017.

LÚCIO, D. M.; DANTAS, S. G.; SANTOS, J. R. M.; PRAXEDES, S. C. Differences in water deficit adaptation during early growth of brazilian dry forest Caatinga trees. **Agriculture & Forestry**, Vol. 63, 2: 59-68, 2017.

MEIADO, M.V. et al. Diásporos da Caatinga: uma revisão. In: SIQUEIRA FILHO, J.A. (Org.). Flora das Caatingas do Rio São Francisco – História Natural e Conservação. Rio do Janeiro: **Andrea Jakobsson Estúdio Editorial**. cap. 9, p. 306-365, 2012.

MEIADO, M.V. Evidências de memória hídrica em sementes da Caatinga. In: Stelmann, J.R.; Isaias, R.M.S.; Modolo, L.V.; Vale, F.H.A. & Salino, A. (Orgs.). Anais do 64º Congresso Nacional de Botânica: botânica sempre viva. Belo Horizonte, **Sociedade Botânica do Brasil**, p. 89-94, 2013.

MEIADO, M. V.; SIMABUKURO, E. A.; IANNUZZI, L.. Entomofauna associated to fruits and seeds of two species of *Enterolobium* Mart.(Leguminosae): harm or benefit?. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 57, n. 1, p. 100-104, 2013.

MELO, A. C. G.; BOAS, O. V.; NAKATA, H. Teste de espécies arbóreas para plantio em área de Cerrado. In: O. Vilas Boas, G. Durigan (orgs.). Pesquisas em Conservação e Recuperação Ambiental no Oeste Paulista: resultados da cooperação Brasil/ Japão. **Páginas & Letras Editora e Gráfica**, São Paulo, p. 305-314, 2004

MENDONÇA, F. S.; EVÊNCIO-NETO, J.; EVÊNCIO, L. B.; DÓRIA, R. G. S.; FREITAS, S. H.; PELEGRINI, L. F.; CRUZ, R. A. S.; FERREIRA, E. V.; COLODEL, E. M. Natural and experimental poisoning of cattle by *Enterolobium contortisiliquum* pods (Fabaceae Mimosoideae) in Central-Western Brazil. **Acta Vet. Brno**. 78:621-625, 2009.

- MILLALEO, R.; REYES-DIAZ, M.; IVANOV, A. G.; MORA, M. L.; ALBERDI, M. Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 10, n. 4, p. 470-481, 2010.
- MOURA, A. R.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, J.A. A.; LIMA, T. V. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.
- NASSIF, S.; M. L.; VIEIRA, I. G.; FERNADES, G. D. Fatores Externos (ambientais) que Influenciam na Germinação de Sementes. Piracicaba: IPEF/LCF/ESALQ/USP, **Informativo Sementes IPEF**, Abr-1998.
- NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas: Mecanismos fisiológicos e moleculares. **Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v. 23, p. 12-18, 2001.
- OLINDA, R.G.; MEDEIROS, R. M. T.; DANTAS, A. F. M.; LEMOS, R. A. A.; RIET-CORREA, F. Intoxicação por *Enterolobium contortisiliquum* em bovinos na região Nordeste do Brasil. **Pesq. Vet. Bras.** 35(1):44-48, 2015.
- PAGTER, M.; BRAGATO, G.; BRIX, H. Tolerance and physiological responses phragmites australis to water deficit. **Aquatic Botany**, v.81, p.285-299, 2005.
- PAIVA, E. P.; TORRES, S. B.; BENEDITO, C. P.; ARAÚJO, P.C. Condicionamento fisiológico e vigor de sementes de melão. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 55, n. 4, p. 332-337, nov. 2012.
- PALTA, J.A.; KOBATA, T.; TURNER, N.C.; FILLERY, I.R. Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by postanthesis water deficits. **Crop Science** 34:118-124, 1994.
- PAZ, G. V.; SILVA, K. A.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. Banco de sementes em áreas de caatinga com diferentes graus de antropização. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. V. 01, N. 01, 61-69, 2016.
- PEIXOTO, A. M. (Coord.) Enciclopédia agrícola brasileira. São Paulo: Editora da Universidade Federal de São Paulo 1: 632p. 2002.
- POWERS, J. S., CORRE, M. D., TWINE, T. E., VELDKAMP, E. Geographic bias of field observations of soil carbon stocks with tropical landuse changes precludes spatial extrapolation. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**. v.108, p.6318-6322, 2011.
- PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. Pp. 3-74. In: Leal, I.R.; Tabarelli, M. & Silva, J.M.C. (Eds.). Ecologia e conservação da Caatinga. Recife, Editora Universitária da UFPE, 2003.

- QUEIROZ, L.P. Leguminosas da Caatinga. Feira de Santana, Universidade Estadual de Feira de Santana, 2009.
- REIS, A.; BECHARA, F. C.; TRES D. R.; TRENTIN, B. E. Nucleação: Concepção biocêntrica para restauração ecológica. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 509-518, 2014.
- REN, J. & TAO, L. Effect of hydration-dehydration cycles on germination of seven *Calligonum* species. **Journal of Arid Environments**, v. 55, p. 111-122, 2003.
- RITO, K.F.; ROCHA, E. A.; LEAL, I. R.; MEIADO, M. V. As sementes de mandacaru têm memória hídrica? **Boletín de La Sociedad Latino americana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas**. v.6, p. 26-31, 2009.
- RODRIGUES, R. R. LIMA, R. A. F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A.G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experiences in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**. 142: 1242-1251, 2009.
- SAKAMOTO, A, MURATA, N. The role of glycinebetaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. **Plant Cell and Environment**. v. 25, p.163-171, 2002.
- SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L.M.; KODAMA, F. M. KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* lam.). **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011.
- SERGIPE. **Florestas em Sergipe: Construindo uma política florestal**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, Aracaju, 2012.
- SILVA, E. C. & NOGUEIRA, R. J. M. C. Crescimento de quatro espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico em casa-de-vegetação. **Revista Ceres**, 50 (288): 203-217, 2003.
- SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; VALE, F. H. A.; MELO, N. F. & ARAÚJO, F. P. Water relations and organic solutes production in four umbu tree (*Spondias tuberosa*) genotypes under intermittent drought. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. v. 21, p. 43-53, 2009.
- SILVA, R. R., OLIVEIRA, D. R., DA ROCHA, G.P., & VIEIRA, D. L. M. Direct seeding of Brazilian savanna trees: effects of plant cover and fertilization on seedling establishment and growth. **Restoration Ecology**. 23: 393-401, 2015.
- SILVA, R. F.; ROS, C. O.; DELLAI, A.; GROLLI, A. L.; SHAID, D. L.; VIEL, P. Interferência de doses de cobre no crescimento e na qualidade de mudas de *Bauhinia forficata* link, *Pterogyne nitens* tul e *Enterolobium contortisiliquum* vell. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 647-655, abr.-jun., 2016

- SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M. CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's forest code. **Science** 344: 363-364, 2014.
- SOUSA, L. B.; LUSTOSA FILHO, J. F.; AMORIM, S. P. N.; NÓBREGA, R. S. A.; NÓBREGA, J. C. A. Germinação, crescimento e nodulação natural de *Enterolobium contortisiliquum* em substratos regionais. **Rev. Bras. de Agroecologia**. 11 (4): 345-353, 2016.
- STANTURF, J. A.; PALIK, B. J.; DUMROESE R. KASTEN. Contemporary forest restoration: A review emphasizing function. **Forest Ecology and Management**. 331 292–323, 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 6. Ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017.
- TOBE, K.; ZHANG, L.; QIU, G. Y.; SHIMIZU, H.; OMASA, K. Characteristics of seed germination in five non-halophytic Chinese desert shrub species. **Journal of Arid Environments**, v.47, p. 191-201, 2001.
- TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A.; DANTAS NETO, J. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 11, p. 307-311, 2007.
- VALLIYODAN, B. & NGUYEN, H.T. Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. **Current Opinion in Plant Biology** 9: 1-7. 2006.
- VELLOSO, A. L., SAMPAIO, E. V., GIULIETTI, A. M., BARBOSA, M. R. V., CASTRO, A. A. J. F., QUEIROZ, L. P. D., ... & SILVA, F. B. R. Ecorregiões: Propostas para o Bioma Caatinga. Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental; **The Nature Conservancy do Brasil**. Recife. 76 f., 2002.
- VIEIRA, N. K.; & REIS, A. O papel do banco de sementes na restauração de áreas degradadas. **SEMINÁRIO NACIONAL**, 2003.
- ZHU, X.; GONG, H.; CHEN, G.; WANG, S.; ZANG, C. Different solute levels in two spring wheat cultivars induced by progressive field water stress at different developmental stages. **Journal of Arid Environment**. v. 62, p.1-14, 2005.

Artigo 1

A ser submetido ao periódico Journal of Seed Science

O hidrocondicionamento de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.)

Morong melhora o desempenho das plântulas sob déficit hídrico?

Alyne Fontes Rodrigues de Melo^{1,2,3}, Elizamar Ciríaco da Silva³, Marcos Vinicius Meiado^{1,2,*}

¹ Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

² Laboratório de Fisiologia de Sementes, Departamento de Biociências, Universidade Federal de Sergipe, Itabaiana, Sergipe, Brasil.

³ Laboratório de Fisiologia e Ecofisiologia Vegetal, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

***Autor para Correspondência:** Dr. Marcos Vinicius Meiado

Laboratório de Fisiologia de Sementes, Departamento de Biociências, Universidade Federal de Sergipe. Av. Vereador Olímpio Grande, s/n, Campus Professor Alberto Carvalho, Bloco D. Bairro Porto, Itabaiana, Sergipe, Brasil. CEP: 49510-200. Tel.: +55 79 3432 8222. E-mail: meiado@ufs.br

Resumo – Em áreas de Caatinga as chuvas são escassas e irregulares, por isso, a embebição das sementes no solo não ocorre de forma contínua, havendo ciclos de desidratação. Porém, essa hidratação descontínua pode favorecer a germinação e sobrevivência das plântulas nesse ambiente. Este trabalho avaliou o efeito do hidrocondicionamento de sementes sobre a germinação e crescimento das plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) sob déficit hídrico. As sementes, após escarificação química foram submetidas a 0, 1, 2 e 3 ciclos de hidratação e desidratação (HD) e colocadas para germinar, dando origem a 60 plântulas, aclimatadas por 15 dias e em seguida submetidas a intervalos de suspensão de rega de sete (E7) e quatorze dias (E14), tendo seu crescimento em altura, diâmetro e número de folhas, avaliados semanalmente. Ao final do experimento foi aferido o peso da parte aérea e raiz e posteriormente secos em estufa para determinação da matéria seca e partição de biomassa. A germinação foi favorecida pelo hidrocondicionamento com um e dois ciclos HD, cujas sementes apresentaram maior velocidade, sincronia e menor tempo para germinar. O mesmo foi observado para a altura, no grupo controle plantas submetidas a 2C foram maior que os demais tratamentos. Plantas E7 dos tratamentos 1C e 2C foram visualmente maiores embora não tenha havido diferença estatística. Apesar de, em situação de estresse hídrico, não ter havido diferença no crescimento, a passagem pelos ciclos HD conferiu algum tipo de vantagem que se propagou da semente até a fase plântula, como observado nas plantas 2C.

Palavras-chave: Memória hídrica, desenvolvimento inicial, estresses ambientais, restauração ecológica.

Introdução

No Brasil, a Lei nº 12.651/12 (Código Florestal) impõe a conservação ou restauração da vegetação nativa pré-existente em parte da área de todas as propriedades rurais. O passivo no país para implementação dessa lei é de aproximadamente 21 Mha, dos quais cerca de 80% são referentes a Reservas Legais (RLs) (SOARES-FILHO *et al.*, 2014). A recuperação de áreas degradadas deverá aumentar a conectividade entre remanescentes naturais, priorizando o desenvolvimento de tecnologias a custo mais baixo possível, tendo em vista que, muitas vezes, essas áreas estão em posse de pequenos proprietários, que dispõem de pouco ou nenhum recurso para investir no reflorestamento (FERREIRA, 2009; REIS *et al.*, 2014).

A Caatinga é um bioma semiárido exclusivamente brasileiro. Em sua maior extensão, é caracterizada por um clima quente com precipitação média em torno de 750 mm por ano. Porém, a chuva é mal distribuída, podendo um único mês registrar até 70% do total anual (ANDRADE *et al.*, 2010). O resultado é uma vegetação submetida à deficiência hídrica sazonal, agravada nos anos de seca, com clima do tipo BSh de acordo com a classificação de Köppen (VELLOSO *et al.*, 2002).

Em ambientes áridos e semiáridos como a Caatinga, a hidratação descontínua é um processo que ocorre naturalmente em sementes, no qual, o período que a água está disponível para a embebição é breve (MEIADO, 2013). De acordo com Dubrovsky (1996; 1998), a hidratação descontínua proporciona às sementes um elevado índice de sobrevivência durante a dessecação, demonstrando que essas sementes podem apresentar uma “memória hídrica”. Tal fato está relacionado ao processo de embebição, o qual preserva as características resultantes da hidratação prévia e ativa genes específicos da planta relacionados à tolerância aos estresses ambientais (BRUCE *et al.*, 2007; CONTRERAS-QUIROZ *et al.*, 2016; MEIADO, 2013).

Sabe-se que a seca afeta negativamente o crescimento das plantas. A redução do crescimento das plantas é considerada a primeira e mais séria consequência fisiológica do déficit hídrico, devido a fatores como o crescimento celular que tem se mostrado bastante sensível à baixa disponibilidade de água no solo, uma vez que o alongamento celular depende da pressão de turgescência (QUEZADA *et al.*, 1999). Desta forma, um menor crescimento celular resultará em menor expansão e área foliar, ocasionando, no final, em um menor crescimento em altura. A baixa disponibilidade hídrica induz, também, outros processos importantes como, por exemplo, o fechamento estomático, reduzindo a aquisição de carbono para a fotossíntese e reduzindo, conseqüentemente, a produção de biomassa e a produtividade das plantas (LARCHER, 2006; SILVA *et al.*, 2013; TAIZ & ZEIGER, 2017). É comum que o crescimento das plantas nesses ambientes semiáridos limite-se ao sistema radicular, numa estratégia de buscar a absorção de água em horizontes mais profundos do solo (KOZLOWSKI & PALLARDY, 1997; MOURA *et al.*, 2016).

A espécie escolhida para este estudo foi o *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae), por ser uma árvore facilmente encontrada na Caatinga é uma espécie que certamente possui características que promovam tolerância aos períodos de seca. Diversos estudos vêm sendo realizados para comprovar essa tolerância (HEBLING, 1997; LÚCIO *et al.*, 2017; SILVA E NOGUEIRA, 2003) porém os mecanismos que o *E. contortisiliquum* possui para manter se desenvolver em ambientes com baixa disponibilidade hídrica ainda precisam ser melhor compreendidos. Sendo o hidrocondicionamento uma técnica que comprovadamente favorece a germinação de diversas espécies, espera-se que ao passar por ciclos de hidratação e desidratação (HD) não só a germinação seja favorecida mas também o desenvolvimento inicial das plântulas sob déficit hídrico.

Tendo em vista a necessidade iminente de recuperação florestal em áreas degradadas na Caatinga é que se pretendeu, neste estudo, avaliar se hidratação descontínua das sementes de *E. contortisiliquum* poderá favorecer o desenvolvimento inicial das plântulas em diferentes condições de déficit hídrico e, assim, tornar-se uma alternativa economicamente viável para produção de mudas mais resistentes às condições ambientais da Caatinga.

Material e Métodos

As sementes utilizadas neste estudo foram doadas pelo Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) oriundas de área de Caatinga do município de Brejo Santo, na região Sul do Estado do Ceará. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Fisiologia e Ecofisiologia Vegetal e na estufa agrícola no Departamento de Biologia, da Universidade Federal de Sergipe, em São Cristóvão. Os dados de temperatura e umidade do ar na estufa foram aferidos diariamente, durante todo o experimento utilizando-se um termohigrômetro digital Klimalogg Pro (TFA, Alemanha).

Espécie selecionada

Conhecida popularmente como tamboril, timbaúva ou orelha-de-negro, a espécie arbórea *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) esta espécie está presente em várias formações florestais. Ocorre em muitos tipos de solo, tanto nos de baixa como nos de alta fertilidade e, na fase adulta, atinge mais de 15 metros de altura (LORENZI, 2008). Por ser uma espécie pioneira, possuir rápido crescimento e se desenvolve bem em ambientes com alta incidência luminosa. Esta espécie é adequada

para uso em áreas abertas e, atualmente, é bastante utilizada em reflorestamentos de áreas degradadas de plantios mistos (LORENZI, 2008; LIMA, 2013; SILVA, 2015).

Assim como muitas espécies que ocorrem na Caatinga, principalmente da família Fabaceae, as sementes de *E. contortisiliquum* possuem tegumento impermeável, apresentando uma dormência tegumentar. Esta característica representa uma adaptação ambiental que permite a germinação apenas quando as condições ambientais tornam-se favoráveis, sendo necessária escarificação química ou mecânica para que haja a embebição e essas sementes possam germinar (EIRA *et al.*, 1993; REIS, 2012).

Hidrocondicionamento das sementes

Após passar pelo processo de superação de dormência tegumentar com a imersão em ácido sulfúrico por 60 minutos (Lêdo, 1977), as sementes de *E. contortisiliquum* foram submetidas a 0, 1, 2 e 3 ciclos de hidratação e desidratação (HD), conforme determinado por Nascimento (2016) através da curva de embebição da espécie, que sugeriu o tempo de 16,5 horas de hidratação e 8 horas de secagem como o mais indicado para tratamentos de restrição hídrica.

A fase de hidratação das sementes foi realizada em placas de Petri, mantidas em condições de laboratório, sob temperatura ambiente (média 25°C). Para a fase de desidratação, as sementes foram mantidas em estufa de secagem a 30°C, por 8 h ou até que as mesmas retornassem ao peso inicial antes da embebição.

Delineamento experimental

As sementes foram colocadas para germinar em bandejas contendo areia lavada. Após a emergência foram selecionadas 60 plântulas, as quais foram

posteriormente transferidas para sacos plásticos contendo 4 kg de terra vegetal, sendo irrigadas diariamente por 15 dias (fase de aclimação). Em seguida, as plântulas foram submetidas a dois ciclos de suspensão da irrigação com intervalos de sete (E7) e 14 dias (E14) entre as regas, além das plantas controle, regadas diariamente até atingir a capacidade de campo. O experimento foi conduzido por 70 dias.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, adotando-se um fatorial duplo, 4X3, correspondendo a quatro tratamentos de hidratação descontínua das sementes: nenhum ciclo (0C), um ciclo (1C), dois ciclos (2C) e três ciclos (3C) e três tratamentos hídricos: plantas regadas diariamente (controle), plantas regadas em intervalo de sete dias (E7), e plantas regadas a cada 14 dias (E14), com cinco repetições por tratamento, totalizando 60 plantas.

Para a análise de germinação das sementes, os parâmetros foram determinados utilizando-se o software GerminaQuant 1.0 (MARQUES *et al.*, 2015) que calcula a germinabilidade (transformada em arco seno da raiz quadrada da porcentagem para as análises estatísticas), o tempo médio de germinação (dias), a velocidade média de germinação (dias^{-1}) e o índice de sincronização da germinação. A normalidade dos dados foi avaliada através do teste Shapiro-Wilk. Os resultados foram submetidos à análise variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas no Software R (R Core Team, 2005).

Análise do crescimento

O crescimento foi avaliado semanalmente através de medidas da altura (cm) utilizando-se régua e, posteriormente, trena, o diâmetro do caule (mm), mensurado com o auxílio de um paquímetro digital e contagem do número de folhas, estas tiveram os

valores transformados para utilização no programa estatístico através da fórmula ($\sqrt{x + 0,5}$).

A produção de matéria seca foi avaliada através da separação das partes de cada planta nas frações folha, caule e raiz, sendo esta destorroadada sobre uma peneira e lavada com água corrente. O material desidratado foi obtido em estufa de secagem a 60°C até a obtenção da massa constante. A partir dos valores de matéria seca obtidos foram determinadas: razão raiz/parte aérea (RRPA = massa seca da raiz / massa seca da parte aérea) e a partição de biomassa. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com dois fatores (ciclos de HD e tratamentos de restrição hídrica). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey (0,05%). As análises estatísticas foram realizadas no Software R (R Core Team, 2005).

Resultados

Durante o período experimental, a temperatura na estufa agrícola variou de 27,5°C a 30,9°C e a umidade relativa do ar entre 60,8% e 79,4% (Figura 1A), e o DPV (déficit de pressão de vapor) variou de 0,76 a 1,67 KPa (Figura 1B).

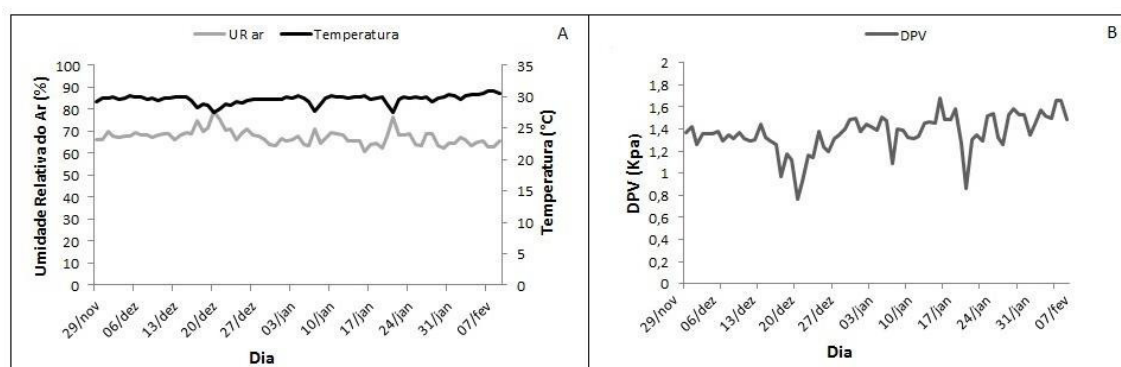


Figura 1. (A) Temperatura e umidade relativa do ar (UR); (B) Déficit de pressão de vapor (DPV) durante o período experimental (novembro/2017 a fevereiro/2018).

Germinação das sementes

Dentre os parâmetros analisados, as sementes hidrocondicionadas 1C e 2C foram favorecidas em relação às sementes que não passaram pelos ciclos de HD, exceto pra a germinabilidade que foi estatisticamente igual para todos os tratamentos (Figura 2A).

O tempo médio de germinação (TMG) foi menor para as sementes 2C ($3,2 \pm 0,1$ dias), ou seja, demandaram um menor tempo para que todas as sementes viáveis geminassem (Figura 2B). Nos tratamentos 0C e 3C de HD ($3,8 \pm 0,09$ dias, $3,7 \pm 0,2$ dias) as sementes demandaram um tempo maior para a germinação. As sementes 1C apresentaram resposta intermediária ($3,4 \pm 0,09$ dias), não diferindo significativamente dos outros tratamentos.

As sementes do tratamento 2C também apresentaram germinação mais sincronizada que as demais ($0,9 \pm 0,07$), não diferindo apenas do tratamento 1C ($0,7 \pm 0,03$), este apresentou comportamento semelhante a todos os tratamentos (Figura 2C). A velocidade média da germinação também foi melhor, ou seja, mais rápida para as sementes que passaram por dois ciclos de HD ($0,3 \pm 0,01 \text{ dia}^{-1}$), não diferindo somente do tratamento 1C ($0,28 \pm 0,007 \text{ dia}^{-1}$). Este por sua vez, foi significativamente semelhante às plantas 0C: $2,6 \pm 0,007$ e 3C: $0,27 \pm 0,01 \text{ dia}^{-1}$ (Figura 2D).

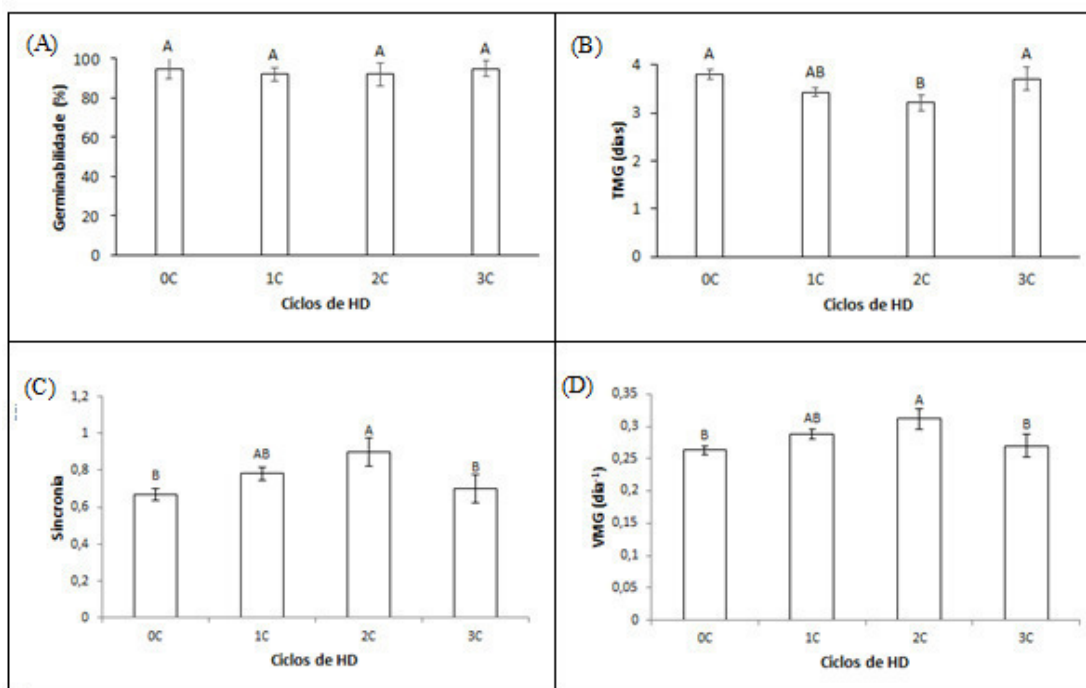


Figura 2. (A) Germinabilidade (%), (B) tempo médio de germinação (dias), (C) índice de sincronização e (D) velocidade média de germinação (dia⁻¹) de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) que passaram por 0, 1, 2 e 3 ciclos de hidratação e desidratação (HD). Letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Altura das plantas

No período inicial, aproximadamente 15 dias após o início da imposição dos tratamentos hídricos, a altura das plântulas cujas sementes passaram por três ciclos de HD ($26 \pm 6,5$ cm) foi significativamente inferior ao das plantas 1C ($35,6 \pm 5,9$ cm), tanto para o grupo controle quanto para o grupo que sofria déficit hídrico moderado de sete dias (1C: $37,2 \pm 5,3$ cm, 3C: $26,4 \pm 4$ cm). Nos 15 dias finais, o comportamento das plantas 3C continuou inferior para o grupo controle, sendo que houve destaque para o crescimento das plantas 2C, que superou as demais, atingindo uma média de $61,6 \pm 7,7$

cm de altura aos 70 dias. A média das plantas 3C para o mesmo período foi de $42,8 \pm 5,9$ cm (Figura 3E). Nas plantas E7, não houve diferença significativa de altura no período final do experimento (Figura 3F).

Para o grupo E14, no dia em que se iniciou a aplicação do estresse, as plântulas originadas a partir das sementes que passaram por 3C encontravam-se com altura de $19,4 \pm 3,7$ cm, significativamente inferior às que passaram por apenas um ciclo ($27,6 \pm 4,5$ cm) e nenhum ciclo ($29,2 \pm 2,5$ cm). No entanto, durante todo o período restante do experimento, o crescimento em altura das plântulas analisadas não diferiu para esse nível de estresse hídrico avaliado (Figura 3G).

Em relação ao crescimento para cada ciclo de HD individualmente, as plantas 0C e 3C não apresentaram diferença significativa de altura entre os diferentes níveis de estresse hídrico (Figura 3A,D). Para as plantas 1C e 2C, houve um crescimento acentuado das plantas controle ($51,8 \pm 5,5$ cm e $61,6 \pm 7,7$ cm, respectivamente), que foi acompanhado pelo grupo E7, que sofria estresse moderado de sete dias de suspensão hídrica ($53,0 \pm 4,0$ cm, $53,0 \pm 12,8$ cm), estes diferiram das plantas E14 ($44,0 \pm 4,9$ cm e $39,4 \pm 4,2$ cm), cujas alturas foram significativamente menores que as demais (Figura 3B,C).

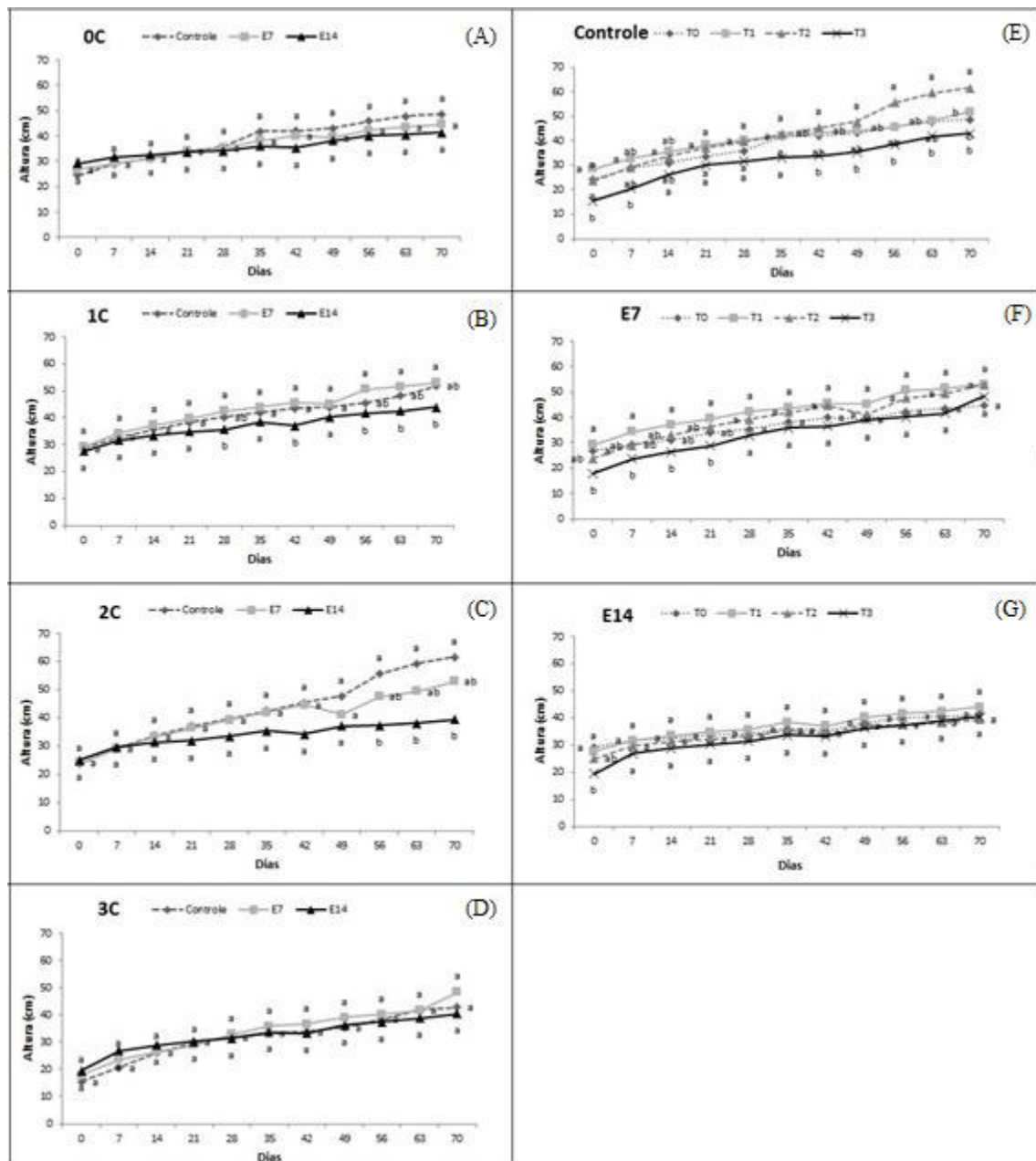


Figura 3. Altura das plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) oriundas de sementes que passaram nenhum ciclo (A), um ciclo (B) dois ciclos (C) e três ciclos (D) de hidratação e desidratação (HD) sob diferentes intervalos de suspensão de rega (Controle, E7 e E14). Plantas regadas diariamente (E), plantas regadas a cada sete dias (F) e plantas regadas a cada 14 dias (G) cujas sementes que passaram por 0, 1, 2 e 3 ciclos de HD. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Diâmetro do caule

Quanto ao diâmetro das plântulas controle, não houve diferença significativa em todo o período do experimento para os diferentes ciclos de HD ao final do experimento apresentaram as seguintes medidas de diâmetro 0C: $5,6 \pm 0,6$ mm, 1C: $5,5 \pm 0,5$ mm, 2C: $5,6 \pm 0,4$ mm, 3C: $4,9 \pm 0,9$ mm (figura 4E). O mesmo ocorreu com as plantas E14, cujas medidas finais foram 0C: $3,9 \pm 0,3$ mm, 1C: $3,9 \pm 0,38$ mm, 2C: $3,9 \pm 0,6$ mm, 3C: $3,7 \pm 0,3$ mm (Figura 4G). Quando submetidas a estresse moderado (E7), as plântulas 1C e 2C ($4,93 \pm 0,4$ mm, $4,9 \pm 0,5$ mm) apresentaram diâmetro superior, diferindo na maior parte do período amostral das plantas 0C e 3C ($4,5 \pm 0,3$ mm, $4,3 \pm 0,4$ mm) (Figura 4F).

Analisando cada ciclo individualmente, o diâmetro do caule das plantas controle foi significativamente superior ao das plantas E14 em todos os ciclos. As plantas E7 ($4,5 \pm 0,3$ mm) do tratamento 0C mostraram comportamento semelhante às E14 ($3,9 \pm 0,3$ mm), ao final do experimento (Figura 4A). Já para as plantas 1C e 2C o grupo E7 apresentou crescimento em diâmetro igual ao das plantas controle em grande parte do período experimental, a média do grupo E7 aos 70 dias foi $4,9 \pm 0,6$ mm, $4,9 \pm 0,4$ mm, respectivamente (Figura 4BC). Nas plantas 3C, o grupo E7 ($4,3 \pm 0,4$ mm) teve comportamento intermediário assemelhando-se tanto às controle ($4,9 \pm 0,9$ mm) quanto às E14 ($3,7 \pm 0,3$ mm) (Figura 4D).

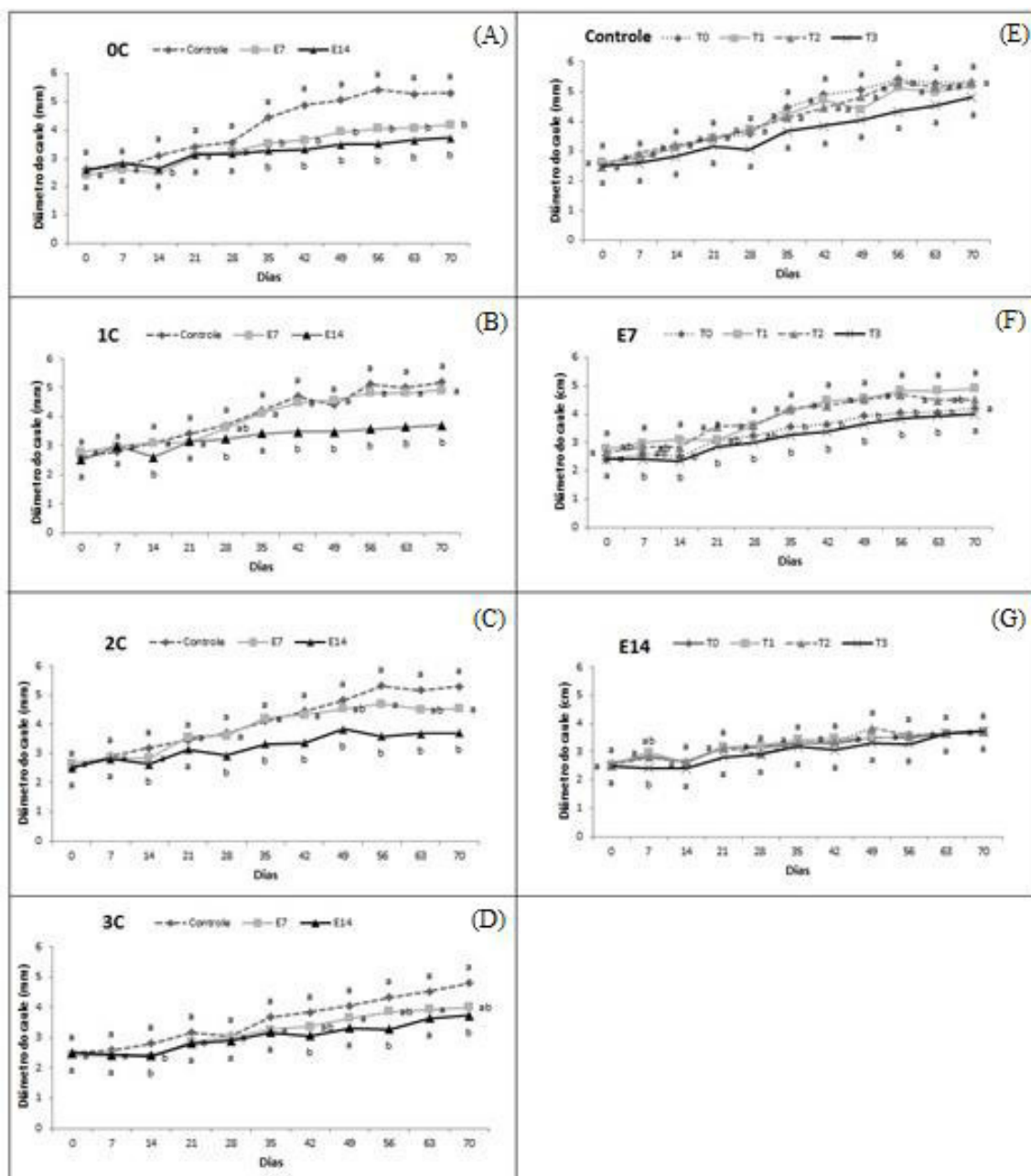


Figura 4. Diâmetro das plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) oriundas de sementes que passaram nenhum ciclo (A), um ciclo (B) dois ciclos (C) e três ciclos (D) de hidratação e desidratação (HD) sob diferentes intervalos de suspensão de rega (Controle, E7 e E14). Plantas regadas diariamente (E), plantas regadas a cada sete dias (F) e plantas regadas a cada 14 dias (G) cujas sementes que passaram por 0, 1, 2 e 3 ciclos de HD. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Número de folhas

Durante o período experimental não houve diferença significativa do número de folhas entre as plantas que passaram por diferentes ciclos de HD sob condições de restrição hídrica.

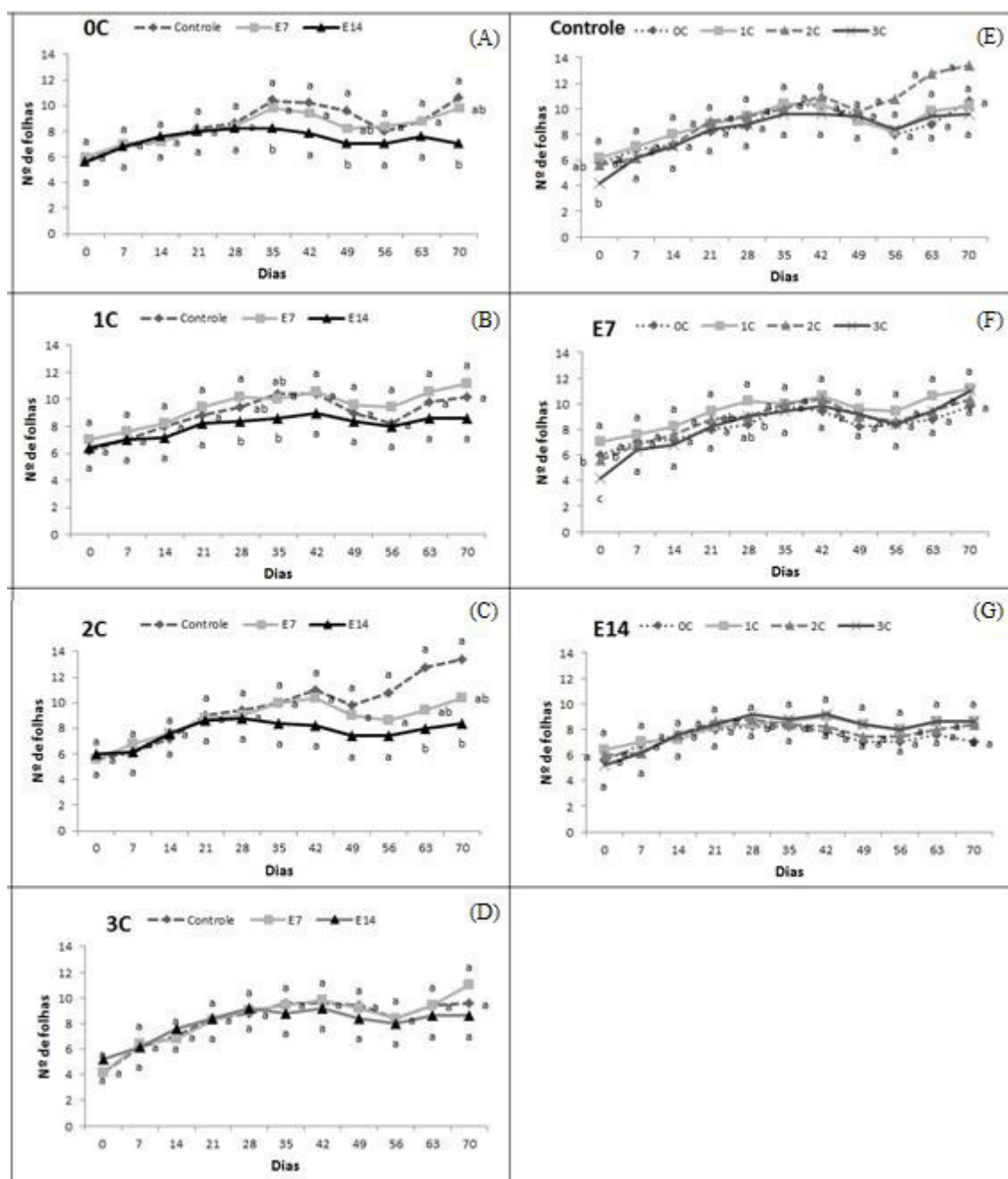


Figura 5. Número de folhas das plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) oriundas de sementes que passaram nenhum ciclo (A), um ciclo (B)

dois ciclos (C) e três ciclos (D) de hidratação e desidratação (HD) sob diferentes intervalos de suspensão de rega (Controle, E7 e E14). Plantas regadas diariamente (E), plantas regadas a cada sete dias (F) e plantas regadas a cada 14 dias (G) cujas sementes que passaram por 0, 1, 2 e 3 ciclos de HD. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Produção de matéria seca

Neste experimento, quando comparado o acúmulo de matéria seca das plantas, de uma forma geral, as plantas controle apresentaram melhor desempenho que as plantas sob déficit hídrico. Para a matéria seca da raiz (MSR), o investimento das plantas controle foi notavelmente superior ao das plantas E7 e E14, porém, só houve diferença estatística nos tratamentos 1C e 3C (Figura 6A). Para estes tratamentos valores de MSR para as controle foram $5,3 \pm 2,5$ g e $5,1 \pm 1,6$ g, respectivamente e para as E14 foi de apenas $1,7 \pm 0,5$ g e $1,3 \pm 0,1$ g. Quanto à matéria seca das folhas, apenas nas plântulas 1C o acúmulo foi semelhante entre as controle ($1,9 \pm 0,5$ g) e plântulas sob estresse (E7: $1,5 \pm 0,28$ g) (Figura 6B). Nos demais tratamentos, o grupo de plântulas sob estresse com intervalo de 14 dias (E14) investiram menos em folhas em relação às plantas controle. Em relação à matéria seca do caule (MSC), houve comportamento semelhante entre as plantas controle e estressadas nos tratamentos 0C e 3C (Figura 6C). Nos tratamentos 1C e 2C, as plântulas controle ($2,1 \pm 0,3$ g, $3,2 \pm 1,2$ g) foram significativamente superiores às plântulas E14 ($1,2 \pm 0,2$ g, $1,1 \pm 0,3$).

De acordo com o resultado da matéria seca total (MST), as plantas controle e E7, independente dos ciclos de HD, desenvolveram-se melhor e puderam dispensar maior investimento dos fotoassimilados em novos órgãos e, assim, garantir o crescimento de forma acelerada (Figura 6D). A média do peso de MST atingido pelas

plantas controle foram 0C: $7,6 \pm 3,1$ g, 1C: $9,4 \pm 2,5$ g, 2C: 11 ± 5 , 3C: $8,6 \pm 2,7$ g; As plantas E14 apresentaram as seguintes médias de peso 0C: $3,6 \pm 0,5$ g, 1C: $4,5 \pm 0,4$ g, 2C: $4,1 \pm 0,7$, 3C $\pm 0,3$ g. A relação raiz/parte aérea (Raiz/RPA) não apresentou diferença entre os tratamentos pré-germinativos. Os valores médios próximos a um permitem inferir que houve investimento semelhante em parte aérea e raiz. Quanto aos tratamentos de restrição hídrica, houve diferença apenas para as plantas 3C, no qual o grupo controle apresentou maior investimento em raiz do que em parte aérea, pois o valor foi significativamente mais baixo que as plantas E14 ($0,7 \pm 0,3$ g e $1,6 \pm 0,3$ g, respectivamente). Estas por sua vez, tiveram peso em parte aérea superior ao da raiz (Figura 6E).

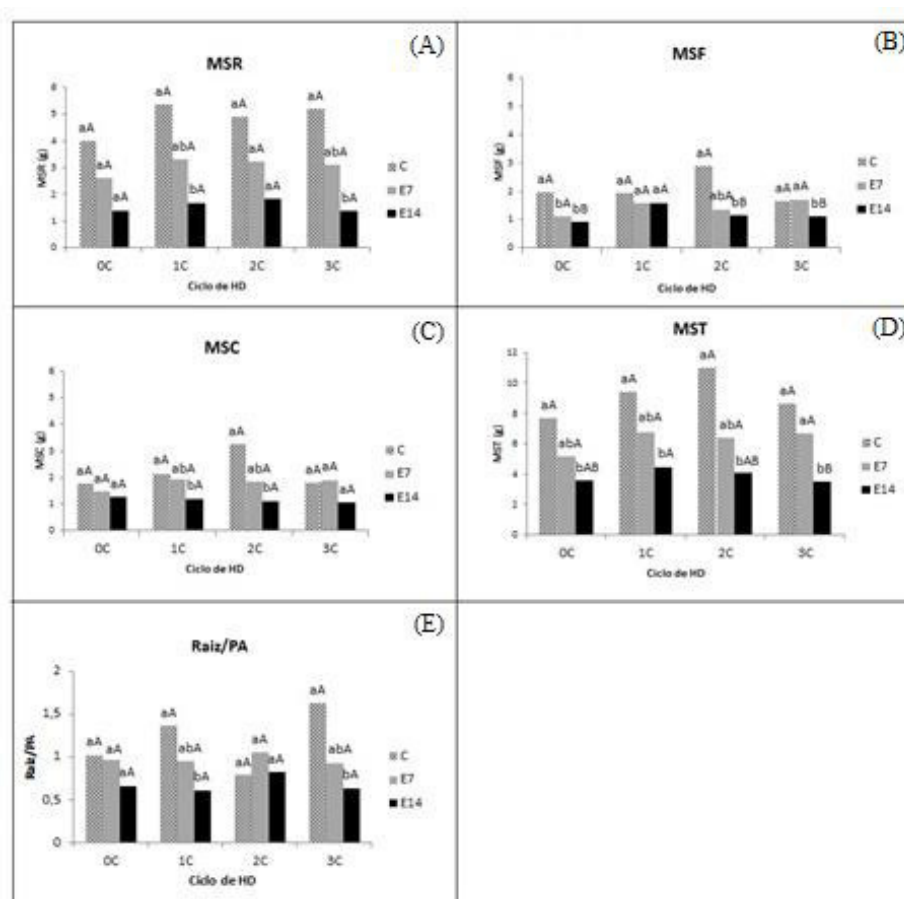


Figura 6. Matéria seca da raiz (MSR), matéria seca da folha (MSF), matéria seca do caule (MSC), matéria seca total (MST) e relação raiz/parte aérea (R/PA) de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) sob diferentes intervalos de

suspensão de rega (Controle, E7 e E14, intervalos de sete e quatorze dias entre as regas), cujas sementes que passaram por 0, 1, 2 e 3 ciclos de hidratação e desidratação (HD). Letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Partição de biomassa

Quando analisado o investimento dos fotossimilados em raiz, caule e folha separadamente, para todos os ciclos de HD, o resultado foi um maior crescimento da raiz. Porém quando considerado a parte aérea como um todo, essa relação é semelhante como já foi mostrado na RPA/R. A fração de raiz representou cerca de 50% do peso total das plantas controle e E7, nas plantas E14 esteve em torno de 40%, porém só houve diferença significativa no tratamento 3C no qual as plantas E14 estavam com $38,7 \pm 4 \%$ e as controle $59,9 \pm 10 \%$ de raiz (Figura 7) Além disso, as raízes do *E. contortisiliquum* também apresentaram nodulações, que funcionam como tecido de reserva para os períodos de seca. Todas as plântulas apresentaram essa característica, independente de estar ou não passando por uma situação de estresse.

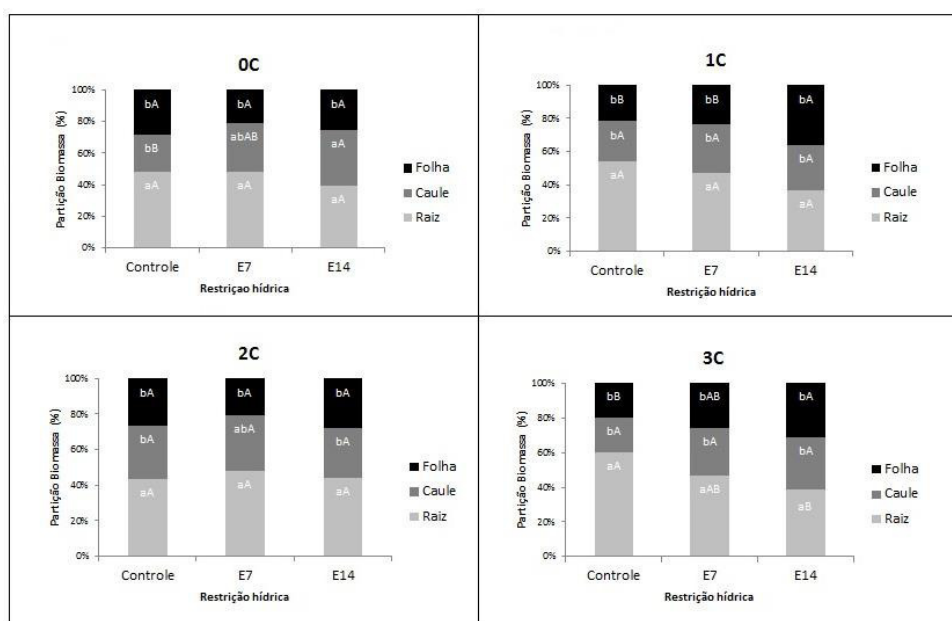


Figura 7. Partição de biomassa em plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) sob diferentes intervalos de suspensão de rega (Controle, E7 e E14, intervalos de sete e quatorze dias entre as regas), cujas sementes que passaram por 0, 1, 2 e 3 ciclos de hidratação e desidratação (HD) Letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Discussão

Este estudo teve como base a hipótese de que a hidratação descontínua das sementes poderia beneficiar outras fases do ciclo de vida do indivíduo e que plântulas originadas a partir de sementes hidrocondicionadas poderiam ser favorecidas quando submetidas às condições de déficit hídrico. De modo geral, a espécie analisada já apresenta características de resistência à seca. Estudos apontaram que se trata de uma espécie que consegue manter elevado o teor de água nas células, mesmo em situação de restrição hídrica, mesmo não investindo significativamente em raízes nessa condição (LÚCIO *et al.*, 2017; SILVA & NOGUEIRA, 2003). Os mecanismos que o *E. contortisiliquum* possui para manter o alto estado da água nos tecidos ainda precisam ser entendidos e elucidados (DANTAS, 2014; HEBLING, 1997).

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, a passagem das sementes pelos ciclos de HD favoreceu a germinação do *E. contortisiliquum*, em especial aquelas que passaram por dois ciclos (2C) apresentaram um aumento significativo na velocidade e sincronização, bem como uma redução no tempo médio de germinação das sementes. Essa melhora no processo germinativo pode ser atribuída à existência de memória hídrica das sementes, como mencionado por Nascimento (2016).

A eficiência dos ciclos de HD e a evidência de memória hídrica em sementes de espécies da Caatinga foi demonstrada por Meiado (2013). Segundo o autor, as

espécies *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae), *Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru* (Cactaceae), *Cnidoscolus quercifolius* Pohl (Euphorbiaceae), *Amburana cearensis* (Allemão) A. C. Sm. (Fabaceae) e *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz (Fabaceae) apresentaram um aumento significativo na germinabilidade, velocidade e sincronização e uma redução no tempo médio de germinação.

Comparando duas populações de uma mesma espécie de cacto, Lima e Meiado (2017) perceberam que sementes oriundas da Caatinga apresentavam resultados melhores quando submetidas ao hidrocondicionamento em relação a sementes coletadas em ambiente de Restinga. A germinação das sementes de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi foi favorecido pela hidratação descontínua, havendo um aumento de cerca de 40% na germinabilidade das sementes coletadas na Caatinga que passaram por dois ciclos de HD. Além disso, os ciclos de HD também favoreceram a germinação de sementes coletadas na Caatinga quando submetidas a tratamentos de estresse hídrico e salino. Assim, podemos perceber uma pré-disposição à memória hídrica em espécies de ocorrência na Caatinga.

A possibilidade que o local de ocorrência da espécie exerça influência sobre a característica da semente apresentar memória hídrica, ou seja, obtenha algum tipo de vantagem ao ser expostas a ciclos de hidratação descontínuos foi demonstrada por Contreras-Quiroz *et al.*, (2016) ao analisar o efeito do hidrocondicionamento na germinação de nove espécies de cacto oriundas de diferentes microrregiões. Os autores encontraram redução no tempo médio de germinação em cinco espécies, sendo justamente as que haviam sido coletadas em áreas desérticas ou em solos rochosos, o que os levou a concluir que o microambiente que habitam pode influenciar na adaptabilidade a esta estratégia de germinação.

Em relação ao crescimento em altura, as plantas submetidas a 2C tiveram maior crescimento que as demais no tratamento controle. Apesar de em situação de estresse hídrico não ter havido diferença, esse resultado mostrou que passar pelos ciclos de HD confere algum tipo de vantagem que se propaga da semente até a fase seguinte de plântula. Embora não tenha havido diferença estatística entre os tratamentos pré-germinativos, o grupo controle e E7 das plantas 1C e 2C apresentaram altura visualmente superior às demais. Em campo, esse desenvolvimento mais rápido pode ser a garantia de sobrevivência e consequente sucesso no estabelecimento das mudas. Para Lucio *et al.* (2017), apesar da maioria dos estudos com restrição hídrica relacionarem menor inibição do crescimento com a tolerância ao estresse, a restrição no crescimento pode ser uma estratégia para viver com a seca tão importante quanto as estratégias destinadas a manter o crescimento. Diante do propósito deste estudo de fornecer uma tecnologia barata e eficaz para produção de mudas mais resistentes às condições da Caatinga, é recomendável que esta técnica seja testada em campo, onde as respostas poderão fornecer uma melhor ideia da influência dos ciclos HD na resistência de mudas e sementes em condições naturais.

O déficit hídrico reduz as trocas gasosas das plantas, o que prejudica a fotossíntese e afeta a assimilação de carbono, condição que reflete diretamente na produção de biomassa. Nesse contexto, as plantas podem alocar ou redistribuir o carbono fixado de forma diferente entre seus órgãos (SANTOS e CARLESSO, 1998). Os resultados de partição de biomassa deste estudo diferem do que foi encontrado por Silva e Nogueira (2003), no qual as plantas de *E. contortisiliquum* sob estresse hídrico moderado alocaram mais fitomassa no sistema radicular do que na parte aérea na fase de planta jovem. Em contrapartida, outras espécies analisadas como *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. (Fabaceae), *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex

S. Moore (Bignoniaceae) e *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. (Fabaceae) também alocam mais fitomassa na parte aérea (SILVA e NOGUEIRA, 2003).

Cruz *et al.* (2006) afirmaram que o desenvolvimento radicular, além de fornecer suporte mecânico, garante maior absorção de água e nutrientes e que essa característica morfológica é um dos fatores mais importantes para estimar a sobrevivência das mudas no campo. Esse comportamento, maior investimento na raiz em relação à parte aérea é uma resposta adaptativa de plantas que estão submetidas a déficit hídrico, vantajosa por permitir que as mesmas obtenham água, mesmo depois da superfície do solo ter perdido a umidade durante a estação seca (LARCHER, 2006). Porém, Cabral (2004) afirmou que, em virtude de possuir o lençol freático mais profundo em relação à Caatinga, tal fato é observado com mais frequência em espécies do Cerrado.

O número de folhas, que está diretamente associado à área foliar, é fator fundamental para o desenvolvimento satisfatório da planta, sendo a principal região de produção dos fotoassimilados (LIMA *et al.*, 2016). Na maioria dos tratamentos pré germinativos analisados houve decréscimo na produção de folhas novas nas plântulas sob condições de déficit hídrico mais severo (E14) e como observação pessoal foi percebida a redução do número de foliólulos para os indivíduos deste tratamento hídrico. A perda de folhas e/ou diminuição da área foliar são estratégias utilizadas pelas plantas para auxiliar na tolerância à seca, reduzindo, assim, a transpiração (VILLAGRA e CAVAGNARO, 2005). Nascimento (2011), em estudo com *Hymenaea courbaril* L., observou redução significativa de biomassa e área foliar sob déficit hídrico.

Comparando as estratégias de adaptação em plantas de *E. contortisiliquum* e *Erythrina velutina* Willd. (mulungu) sob diferentes regimes hídricos, Lúcio *et al.*, 2017, perceberam que os níveis de seca testadas (moderado e severo) tiveram pouco ou

nenhum efeito sobre o tamanho das folhas e folíolos do *E. contortisiliquum* também, não sendo observados efeitos significativos no formato da folha. Essas mudanças morfológicas e fisiológicas ocorrem para evitar os efeitos negativos do estresse hídrico, levando-os a hipótese de que a fotossíntese deveria ter sido menos inibida no *E. contortisiliquum* e que esta espécie deve investir em mecanismos para manter o alto estado da água nos tecidos para a manutenção da troca de gás. Os autores verificaram também que o pequeno efeito da restrição de água na partição de biomassa e pouca inibição do crescimento. Assim, esta deve ser uma espécie que mantém maior estado de água sob restrição, mas não investindo mais em raízes como seria esperado. Corroborando com o que foi encontrado neste trabalho, quando mesmo em situação de seca mais severa as plantas continuaram investindo no crescimento da parte aérea.

Silva e Nogueira (2003), ao estudarem quatro espécies lenhosas cultivadas sob déficit hídrico, observaram a redução da transpiração em quase todos os horários avaliados em respostas ao déficit hídrico em plântulas de *E. contortisiliquum*, sendo que a disponibilidade de água no solo foi o fator que mais influenciou essa redução. Ainda segundo as autoras, a espécie reduz poro estomático como estratégia para minimizar a perda de água. Análises ecofisiológicas complementares são necessárias para que se possa entender o comportamento dessa espécie sob situação de déficit hídrico, quando provenientes de sementes hidrocondicionadas.

Por fim, o presente estudo confirmou que as sementes de *E. contortisiliquum* possuem memória hídrica, pois tiveram importantes parâmetros germinativos favorecidos devido à passagem pelos ciclos de HD. As plantas 2C obtiveram vantagem, na condição controle, estas apresentaram desenvolvimento em altura superior às demais. Em virtude das vantagens proporcionadas pelos ciclos de HD à germinação das sementes de *E. contortisiliquum* e possível aumento no vigor das plântulas, sugere-se

que as sementes sejam submetidas a dois ciclos de HD (H: 16,5; D: 8 horas), após a superação da dormência, para que possam ser utilizadas em projetos de recuperação de ambientes degradados da Caatinga.

Referências bibliográficas

ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. O semiárido cearense e suas águas. In: Andrade et al. (eds), O Semiárido e o manejo dos recursos naturais. 1ed. **Fortaleza: Imprensa Universitária**, pp.71-94, 2010.

BRUCE, T. J. A., MATTHES, M. C., NAPIER, J. Á., PICKETT, J. A. Stressful “memories” of plants: Evidence and possible mechanisms. **Plant Science**. V. 173, p.603–608, 2007.

CABRAL, E. L et al. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia áurea* (Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico. *Acta Botânica Brasilica*. São Paulo, v. 18, n. 2, p. 1-16, 2004.

CONTRERAS-QUIROZ, M. D. R.; PANDO-MORENO, M.; FLORES, J.; E. JURADO. Effect of hydration and dehydration cycles on the germination of nine species of the Chihuahuan Desert. *Botanical sciences*, 94 (2) 221-228, 2016.

DANTAS, B. F.; MATIAS, J. R.; MENDES, R. B.; Ribeiro, R. C. As sementes da Caatinga são...”: Um levantamento das características das sementes da Caatinga. *Informativo Abrates*, v. 24, n. 3, 2014.

DUBROVSKY, J.G. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. **American Journal of Botany**, v. 83, p.624-632, 1996.

DUBROVSKY, J.G. Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactus species of the Sonoran Desert. **Journal of the Torrey Botanical Society**. v.125, p.33-39, 1998.

FERREIRA, R. A., SANTOS, P. L., ARAGÃO, A. G. D., SANTOS, T. I. S., SANTOS NETO, E. M. D.; REZENDE, A. M. D. S. Semeadura direta com espécies florestais na implantação de mata ciliar no Baixo São Francisco em Sergipe. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 81, p. 037-046, 2009.

HEBLING, S.A. Aspectos ecofisiológicos da germinação de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vellozo) Morong. São Carlos, 1997. 143p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, 1997.

- HORA, I. S.; & MEIADO, M. V. A hidratação descontínua em sementes favorece a produção de mudas de *Myracrodruon urundeuva* allemão (Anacardiaceae)? **Agroforestalis News**, Aracaju, v.1, n.1, set, 2016.
- KOZLOWSKI, T. T. & PALLARDY S. G. Physiology of Woody Plants Biological techniques series. **Academic Press**, p. 411, 1997.
- LEDO, A. A. M. Estudo da causa da dormência em sementes de guapuruvu (*Schizolobium parahybum* (Vell) Blake) e orelha de negro (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell) Morong) e métodos para sua quebra. **UFV**, 1977.
- LIMA, D. D. *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. Páginas 40-41 In: SIQUEIRA FILHO, J. Á.; MEIADO, M. V.; RABBANI, A. R. C.; SIQUEIRA, A. A.; VIEIRA, D. C. M. (orgs.) Guia de Campo de Árvores das Caatingas. Curitiba: Editora Progressiva. 2013.
- LORENZI, H. Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5. ed. Nova Odessa: **Instituto Plantarum**, 384 f. v. 1. 2008.
- LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. **Rima**, São Carlos. 2006.
- LÚCIO, D. M.; DANTAS, S. G.; SANTOS, J. R. M.; PRAXEDES, S. C. Differences in water deficit adaptation during early growth of brazilian dry forest Caatinga trees. **Agriculture & Forestry**, Vol. 63, 2: 59-68, 2017.
- MARQUES, F. R. F.; MEIADO, M. V.; CASTRO, N. M. C. R.; CAMPOS, M. L. O.; MENDES KR, SANTOS OO, POMPELLI, M. F. GerminaQuant: a new tool for germination measurements.. **Journal of Seed Science**, 37: 248-255, 2015.
- MEIADO, M.V. Evidências de memória hídrica em sementes da Caatinga. In: Stelmann, J.R.; Isaias, R.M.S.; Modolo, L.V.; Vale, F.H.A. & Salino, A. (Orgs.). Anais do 64º Congresso Nacional de Botânica: botânica sempre viva. Belo Horizonte, **Sociedade Botânica do Brasil**, p. 89-94, 2013.
- MOURA, A. R.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, J.A. A.; LIMA, T. V. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.
- NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J.M. C.; SILVA, E. C.; SILVA, M. A. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. **Rev. Árvore**, v. 35, n.3, 2011.
- NASCIMENTO, J. P. B. Hidratação descontínua de sementes como nova alternativa para a produção de mudas destinadas à recuperação de ambientes degradados. Dissertação (mestrado em Ecologia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 75 f., 2016.

- QUEZADA, R. A. P.; ONTIVEROS, J. L. R. & HERNÁNDEZ, V. A. G. Transpiracion, potencial hídrico y prolina em zarzamora bajo déficit hídrico. **Terra** 17: 125-130. 1999.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. 2011.
- REIS, A.; BECHARA, F. C.; TRES D. R.; TRENTIN, B. E. Nucleação: Concepção biocêntrica para restauração ecológica. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 509-518, 2014.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.
- SILVA, E. C. & NOGUEIRA, R. J. M. C. Crescimento de quatro espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico em casa-de-vegetação. **Revista Ceres**, 50 (288): 203-217, 2003.
- SILVA, R. R., OLIVEIRA, D. R., DA ROCHA, G.P., & VIEIRA, D. L. M. Direct seeding of Brazilian savanna trees: effects of plant cover and fertilization on seedling establishment and growth. **Restoration Ecology**. 23: 393-401, 2015.
- SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M. CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's forest code. **Science** 344: 363-364, 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 6. Ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017.
- VELLOSO, A. L., SAMPAIO, E. V., GIULIETTI, A. M., BARBOSA, M. R. V., CASTRO, A. A. J. F., QUEIROZ, L. P. D., ... & SILVA, F. B. R. ECORREGIÕES: Propostas para o Bioma Caatinga. Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental; **The Nature Conservancy do Brasil**. Recife. 76 f., 2002.
- VILLAGRA P. E. & CAVAGNARO, J. B. Effects of salinity on the establishment and early growth of *Prosopis argentina* and *Prosopis alpataco* seedlings in two contrasting soils: implications for their ecological success. **Austr Ecol**. 30:325-335, 2005.

Artigo 2

A ser submetido ao periódico Journal of Seed Science

Influência do hidrocondicionamento de sementes nas relações hídricas e produção de solutos osmoticamente ativos em mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (vell.) Morong (Fabaceae) sob ciclos de seca intermitente.

Alyne Fontes Rodrigues de Melo^{1,2,3}, Elizamar Ciríaco da Silva³, Marcos Vinicius Meiado^{1,2,*}

¹ Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

² Laboratório de Fisiologia de Sementes, Departamento de Biociências, Universidade Federal de Sergipe, Itabaiana, Sergipe, Brasil.

³ Laboratório de Fisiologia e Ecofisiologia Vegetal, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

***Autor para Correspondência:** Dr. Marcos Vinicius Meiado

Laboratório de Fisiologia de Sementes, Departamento de Biociências, Universidade Federal de Sergipe. Av. Vereador Olímpio Grande, s/n, Campus Professor Alberto Carvalho, Bloco D. Bairro Porto, Itabaiana, Sergipe, Brasil. CEP: 49510-200. Tel.: +55 79 3432 8222. E-mail: meiado@ufs.br

Resumo – As plantas que se desenvolvem na Caatinga estão naturalmente submetidas às condições de baixa disponibilidade hídrica e altas temperaturas, para conseguir se desenvolver nesses ambientes elas desenvolveram diversas adaptações. O objetivo deste estudo foi avaliar se o hidrocondicionamento de sementes poderá ampliar as características de tolerância à seca do *E. contortisiliquum* Vell. Mogong. (tamboril) através do acúmulo de solutos osmoticamente ativos. As sementes desta espécie pioneira, de ampla ocorrência foram submetidas a 0, 1, 2 e 3 ciclos de hidratação e desidratação (HD) e postas para germinar, em seguida as plântulas selecionadas foram aclimatadas por 15 dias, posteriormente submetidas a intervalos de suspensão de rega de sete (E7), quatorze dias (E14) e rega diária (Controle). Quinzenalmente houve a coleta de uma folha de cada planta para análise dos parâmetros ecofisiológicos, como teor relativo de água (TRA), acúmulo de solutos (carboidratos, proteína e prolina). O potencial hídrico foliar (Ψ_w) foi medido aos 45 dias e ao final do período experimental (75 dias). A espécie demonstrou, de uma forma geral, capacidade de tolerância ao déficit hídrico, acumulando prolina nas folhas e raízes e assim houve redução do potencial hídrico e consequente manutenção do turgor das células. As plantas 3C conseguiram, durante todo o experimento, manter o TRA das plantas estressadas igual às plantas controle graças ao acúmulo deste soluto osmoprotetor. Mesmo as plantas controle cujas sementes passaram por 2 e 3 ciclos reduziram significativamente seu Ψ_w o que pode ter atribuído a uma preparação da plântula a um possível estresse ao qual ele já foi submetida, representado pelos ciclos de HD.

Palavras-chave: Memória hídrica, germinação, hidratação descontínua, ecofisiologia, vegetal.

Introdução

A Caatinga, em sua maior extensão, é uma Floresta Tropical Seca caracterizada por um clima quente e semiárido, com precipitação média anual de 750 mm. Porém, a chuva é mal distribuída, podendo um único mês registrar até 70% do total anual (ANDRADE *et al.*, 2010). Os totais de chuva variam muito de ano para ano e, em intervalos de dez a vinte anos, caem menos da metade da média, fenômeno conhecido como a “seca”. Em contrapartida, a evapotranspiração potencial é sempre alta, entre 1.500 e 2.000 mm por ano. O resultado é uma vegetação submetida à deficiência hídrica sazonal, agravada nos anos de seca, com clima do tipo BSh de acordo com a classificação de Köppen (VELLOSO *et al.*, 2002).

Devido à irregularidade das chuvas e altas temperaturas, em ambientes áridos e semiáridos, a hidratação descontínua é um processo que ocorre naturalmente em sementes, no qual, o período que a água está disponível para a embebição é breve (LIMA & MEIADO, 2017). Essa hidratação descontínua exerce um papel importante na persistência e dinâmica das plantas nesses ambientes (TOBE *et al.*, 2001; REN & TAO, 2003, MEIADO, 2013). Há evidências de que as plantas são passíveis de alterar sua fisiologia e metabolismo em resposta à experiência anterior (BRUCE *et al.*, 2007).

De acordo com Dubrovsky (1996; 1998), a hidratação descontínua (HD) proporciona às sementes um elevado índice de sobrevivência durante a dessecação, demonstrando que essas sementes podem apresentar uma “memória hídrica”, fato ocasionado pelo processo de embebição, o qual preserva as características resultantes da hidratação prévia e ativa genes específicos da planta relacionados à tolerância aos estresses ambientais. Além disso, o recrutamento e o desenvolvimento das plântulas podem apresentar maior vigor e crescimento, quando oriundas de sementes submetidas a ciclos de hidratação e secagem (MEIADO, 2013).

Contreras-Quiroz *et al.*, (2016) afirmam que a presença ou não de memória hídrica nas sementes é consequência do local de origem, ou seja, foi desenvolvida em resposta padrão de precipitação e umidade relativa ao qual as plantas haviam sido submetidas. Os autores perceberam que espécies cujo ambiente de origem possuía umidade relativamente alta durante o verão, não precisaram desenvolver este tipo de adaptação. Os cactos, por exemplo, oriundos de habitats rochosos e/ou desérticos, portanto, mais secos apresentaram memória hídrica, provavelmente devido à escassez de água nesta área (CONTRERAS-QUIROZ *et al.*, 2016). Sendo assim, algumas plantas que se desenvolvem na Caatinga precisaram, ao longo do tempo, desenvolver esta e outras adaptações para tolerar os longos períodos de seca e poucas chuvas (SILVA *et al.*, 2009).

Algumas plantas tolerantes à seca podem retardar a dessecação dos tecidos através de medidas osmorregulatórias, acumulando solutos orgânicos de baixo peso molecular, como açúcares, aminoácidos, compostos quaternários de amônia (betaína e glicina betaína) e proteína (SAKAMOTO & MURATA, 2002; ASHRAF & FOOLAD, 2007). Conhecido como ajustamento osmótico (ZHU *et al.*, 2005; BUCCI *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2009), esse processo permite que o potencial hídrico seja diminuído sem que haja decréscimo do turgor celular, possibilitando a continuação do alongamento celular e facilitando a condutância estomática mais altas sob potenciais hídricos mais baixos. Tal ajuste osmótico sugere uma aclimatação que aumenta a tolerância à desidratação (TAIZ & ZEIGER, 2017).

Conhecida popularmente como tamboril, timbaúva ou orelha-de-negro a espécie arbórea *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) é uma planta heliófita, seletiva, higrófito, pioneira, presente em várias formações florestais, com ocorrência nos estados do Pará, Maranhão e Piauí até o Rio Grande do Sul. Ocorre em

muitos tipos de solo, tanto nos de baixa como nos de alta fertilidade e, na fase adulta, atinge cerca de 15 m de altura (LORENZI, 2008). Por ser uma espécie pioneira, possui rápido crescimento e se desenvolve bem em ambientes com alta incidência luminosa. Além disso, essa espécie é adequada para uso em áreas abertas e atualmente bastante utilizada em reflorestamentos de áreas degradadas de plantios mistos (LIMA, 2013; LORENZI, 1998; SILVA, 2015).

Assim como ocorre em muitas espécies da Caatinga, principalmente da família Fabaceae, as sementes de *E. contortisiliquum* possuem tegumento impermeável (dormência tegumentar), uma adaptação ambiental que permite a germinação apenas quando as condições ambientais tornam-se favoráveis, sendo necessária escarificação química ou mecânica para que haja a embebição e essas sementes possam germinar (EIRA *et al.*, 1993; REIS *et al.*, 2012). Embora hajam alguns estudos analisando a capacidade do *E. contortisiliquum* se desenvolver sob condições de déficit hídrico e principais mecanismos envolvidos nessa tolerância (LÚCIO *et al.* 2017, SILVA & NOGUEIRA, 2003) ainda não há publicações referentes ao efeito do hidrocondicionamento das sementes nas respostas ecofisiológicas das plantas sob estresse.

Os benefícios que os ciclos de HD proporcionam às sementes podem variar entre as espécies e especialmente entre as populações (LIMA & MEIADO, 2017). Por isso, a importância de estudos envolvendo essa técnica a fim de identificar as espécies nativas que possuem essa característica de memória e, com isso, avaliar se o hidrocondicionamento poderá ampliar as características de tolerância das plantas ao déficit hídrico. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi analisar as relações hídricas e produção de solutos em mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong

(Fabaceae) cujas sementes foram hidrocondicionadas, em resposta a diferentes situações de déficit hídrico.

Material e Métodos

As sementes utilizadas neste estudo foram doadas pelo Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), oriundas de área de Caatinga do município de Brejo Santo, na região Sula do Estado do Ceará. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Fisiologia e Ecofisiologia Vegetal e estufa agrícola no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Sergipe. Os dados de temperatura e umidade do ar na estufa foram aferidos diariamente durante todo o experimento.

Espécie selecionada

Por ser uma espécie comumente encontrada na Caatinga, o *E. contortisiliquum* apresenta características fisiológicas que permitem sua tolerância aos períodos de seca. Alguns estudos nesse sentido puderam inferir, por exemplo, que sementes desta espécie possuem um elevado limite de tolerância à seca, situado entre $-1,6$ e $-1,8$ MPa. Em situações onde foi aplicado estresse severo, a restrição de água na partição de biomassa surtiu pouco efeito no crescimento, quase não havendo inibição. A partir dos resultados, os autores afirmam que se trata de uma espécie que consegue manter maior estado de água nas células sob restrição, mas não investindo mais em raízes ou caules. (HEBLING, 1997 LÚCIO *et al.*, 2017) Porém, os mecanismos que o *E. contortisiliquum* possui para manter o alto estado da água nos tecidos ainda precisam ser entendidos e elucidados.

Hidrocondicionamento das sementes

Após passar pelo processo de superação de dormência tegumentar com a imersão em ácido sulfúrico por 60 minutos (LÊDO, 1977), as sementes de *E. contortisiliquum* foram submetidas a 0, 1, 2 e 3 ciclos de hidratação e desidratação (HD), conforme determinado por Nascimento (2016), através da curva de embebição da espécie, que sugeriu o tempo de 16,5 horas de hidratação e 8 horas de secagem como o mais indicado para tratamentos de restrição hídrica.

A fase de hidratação das sementes foi realizada em placas de Petri, mantidas em condições de laboratório sob temperatura ambiente (média 25°C). Para a fase de desidratação, as sementes foram mantidas em estufa de secagem a 30°C, por 8 h ou até que as mesmas retornassem ao peso inicial antes da embebição.

Delineamento experimental

As sementes controle e hidrocondicionadas foram colocadas para germinar em bandejas contendo areia lavada, das quais foram selecionadas a 60 plântulas posteriormente transferidas para sacos plásticos contendo 4 kg de terra vegetal, irrigadas diariamente por 15 dias (fase de aclimação). Em seguida, as plântulas foram submetidas a dois ciclos de suspensão da irrigação com intervalos de sete (E7) e 14 dias (E14) entre as regas, além das plantas controle, regadas diariamente. O experimento foi conduzido por 75 dias.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 3, correspondendo a quatro tratamentos de hidratação descontínua das sementes: nenhum ciclo (0C), um ciclo (1C), dois ciclos (2C) e três ciclos (3C) e três tratamentos hídricos: rega diária (plântulas controle), intervalos de sete dias entre as

regas (plântulas E7), intervalos de 14 dias entre as regas (plântulas E14), com cinco repetições por tratamento, totalizando 60 plantas a serem avaliadas.

Análise das relações hídricas

O potencial hídrico foliar foi medido às 12 h, horário de maior demanda evaporativa, em folhas maduras e expandidas. As folhas foram coletadas do terço superior do caule envoltas em sacos plásticos e acondicionadas em isopor com gelo. O potencial hídrico foi medido com a câmara de pressão de Scholander, Modelo 3035 (Soil Moisture Equipment Corp, Santa Barbara, CA, USA), segundo metodologia descrita por Scholander *et al.* (1965).

Quinzenalmente foi determinado o teor relativo de água (TRA), de acordo com a metodologia descrita por Weatherley (1950), pesou-se seis foliólolos de cada plântula para obtenção do peso da matéria fresca (PMF) e, em seguida, colocadas em placas de Petri contendo água deionizada. As placas foram deixadas em local de temperatura controlada por 24 h, no escuro e, após esse período, pesadas novamente para determinação do peso da matéria túrgida (PMT). Após a pesagem, foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de circulação forçada de ar a 70 °C por, pelo menos, 48 horas, até atingir peso constante, sendo então determinado o peso da matéria seca (PMS). O valor do TRA expresso em percentagem (%) foi calculado utilizando-se a equação descrita em Weatherley (1978):

$$\text{TRA} = \text{PSF-PST/PMT-PMS} \times 100.$$

Determinação de solutos orgânicos osmoticamente ativos

Para as análises bioquímicas, cerca de 1 g de limbo foliar sem a nervura central foi acondicionado em papel alumínio e congelado até o preparo dos extratos. O material foi macerado em almofariz com 5 mL de tampão fosfato monobásico 0,1M, pH 7, contendo EDTA a 0,01M, filtrado em malha de nylon e centrifugado a 4.000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante, então, foi transferido para tubos de eppendorff de 2 mL e congelados em freezer até o momento das análises. A determinação de carboidratos solúveis totais foi realizada colorimetricamente (490 nm) em uma alíquota de 0,5 mL do extrato, pelo método do fenol-ácido sulfúrico, utilizando-se a D-(+)-glucose como padrão (DUBOIS *et al.*, 1956). A prolina livre foi determinada colorimetricamente a 520 nm, em uma alíquota de 1 mL do extrato, utilizando-se a ninhidrina como reagente específico e a prolina pura como padrão (BATES *et al.*, 1973). As proteínas solúveis foram determinadas colorimetricamente (595 nm) pelo método de ligação ao corante, em uma alíquota de 0,1 mL do extrato, utilizando-se a albumina de soro bovino pura como padrão (BRADFORD, 1976).

Análises estatísticas

Os resultados dos parâmetros fisiológicos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com dois fatores (ciclos de HD e tratamentos hídricos), esquema fatorial 4 x 3 e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias foram verificadas através dos testes de Shapiro-Wilk, e todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team, 2017), com $\alpha = 5\%$.

Resultados

Durante o período experimental, a temperatura do ar na estufa agrícola variou de 27,5°C a 30,9°C e a umidade relativa do ar entre 60,8% e 79,4% (Figura 1A) e o DPV (déficit de pressão de vapor) variou de 0,76 a 1,67 (Figura 1B).

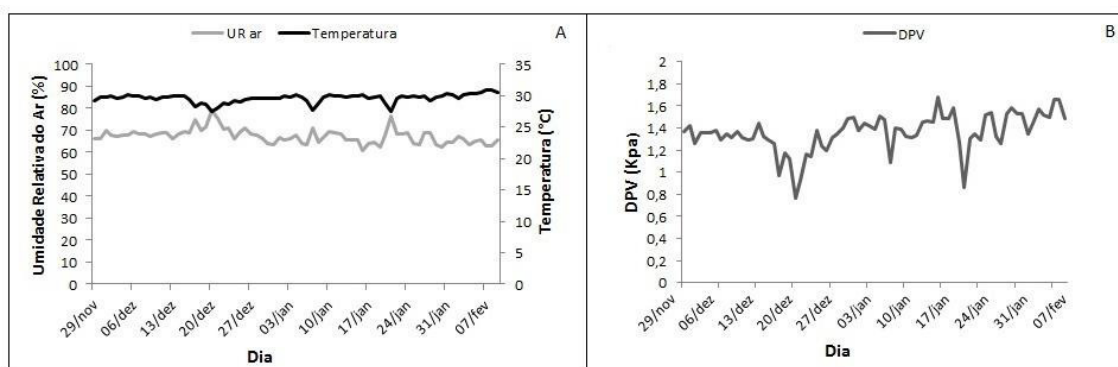


Figura 1. (A) Temperatura e umidade relativa do ar (UR); (B) Déficit de pressão de vapor (DPV) durante o período experimental.

A umidade do solo antes da irrigação foi reduzida com os ciclos de suspensão da irrigação, com valores médios que variaram de 14,7% a 19,5% nas plantas controle, 5,7% a 7,3% nas plantas E7 e 5,4% a 6,7% nas plantas E14 (Tab. 1). Essa redução corresponde a cerca de 60% de redução da umidade em relação às plantas controle.

Tabela 1. Porcentagem de umidade do solo nas mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) sob diferentes intervalos de suspensão de rega (Controle, E7 e E14, intervalos de sete e quatorze dias entre as regas), durante todo o período experimental. Os valores correspondem a medidas realizadas antes da reirrigação.

Dias	Controle (%)	E7 (%)	E14 (%)
------	--------------	--------	---------

15	17,2	6,5	6,1
30	14,7	7,3	5,6
45	19,5	5,7	6,1
60	15,5	6,2	5,4
75	16,7	6,9	6,7

Analisando os parâmetros de relações hídricas, pôde-se observar que houve manutenção do conteúdo de água nas células, já que o teor relativo de água (TRA) se manteve em níveis altos (acima de 60%), mesmo nas plântulas E14, exceto para o período de 45 dias, no qual houve um decréscimo significativo nas plantas E14 para os tratamentos 0C, 1C e 2C, cuja média do TRA ficou em torno de 43% (Figura 2). As plântulas 3C, por sua vez, foram as únicas cujo TRA dos indivíduos mantidos sob estresse não diferiram significativamente das plântulas regadas diariamente, durante todo o período experimental (Figura 2D).

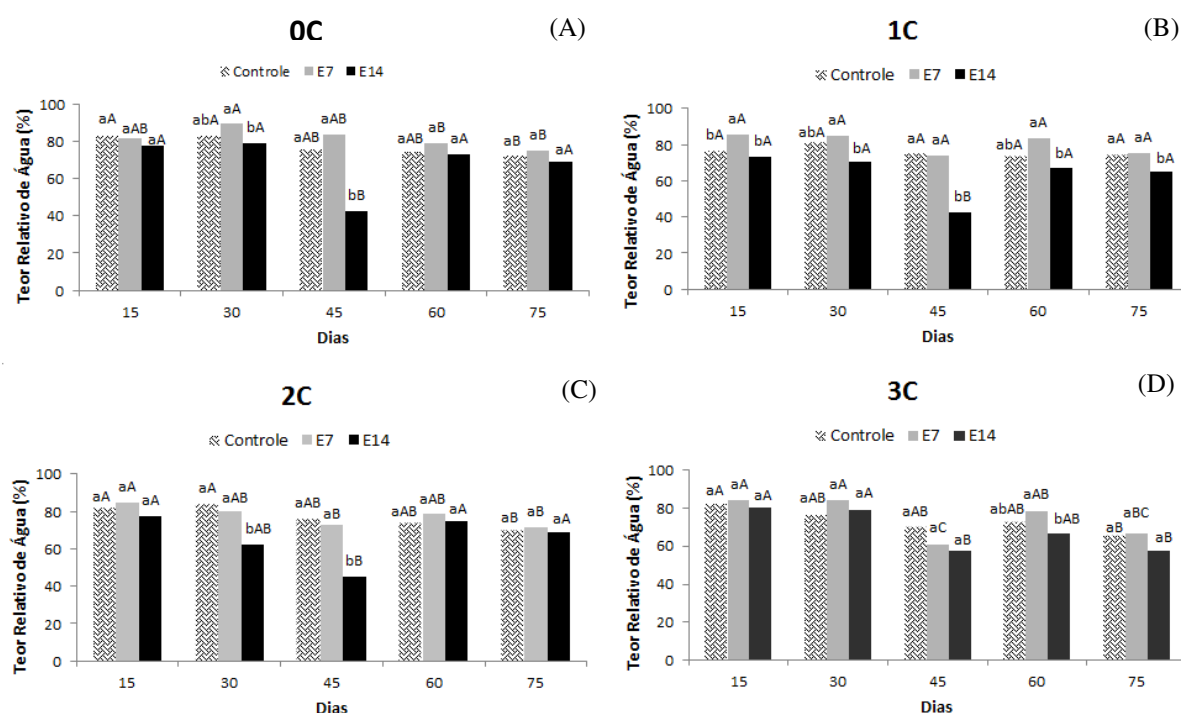


Figura 2 – Teor Relativo de Água (TRA) em folhas de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) cujas plantas são oriundas de sementes hidrocondicionadas, sob diferentes situações de restrição hídrica com ciclos de sete (E7)

e quatorze (E14) dias de interrupção de rega. Letras minúsculas iguais, os tratamentos hídricos não diferem entre si no dia de avaliação, letras maiúsculas iguais, não há diferença significativa no mesmo ciclo ao longo dos dias, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O potencial hídrico foliar (Ψ_w) medido aos 45 dias de experimento mostrou que as plântulas E14 de todos os tratamentos reduziram significativamente seus valores em resposta à redução da disponibilidade hídrica (Tabela 1). As plântulas E7 do tratamento 3C apresentaram comportamento semelhante de redução do Ψ_w a medição realizada aos 75 dias mostrou que, mesmo as plântulas controle, reduziram significativamente Ψ_w , assemelhando-se ao das plântulas E14. Essa redução foi mais acentuada nas plântulas submetidas a dois e três ciclos. O fato das sementes terem sido coletadas em ambiente árido, provavelmente, está relacionado a esta característica de tolerância à seca.

Tabela 2 – Potencial hídrico foliar (Ψ_w) em folhas de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) sob diferentes intervalos de suspensão de rega (Controle, E7 e E14, intervalos de sete e quatorze dias entre as regas), cujas sementes que passaram por ciclos de hidratação descontínua (HD), nenhum ciclo (0C), um ciclo (1C) dois ciclos (2C) e três ciclos (3C). Letras minúsculas iguais na mesma coluna, os tratamentos hídricos não diferem entre si, letras maiúsculas iguais na mesma linha, não há diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

$\Psi_w(\text{MPa})$				
45 Dias				
Trat. Rega/ Ciclo	0C	1C	2C	3C
Controle	-0,567 aAB	-0,317 aA	-0,600 aAB	-0,667 aB
E7	-0,467aA	-0,780 aA	-0,517 aA	-1,088 bB
E14	-1,967 bBC	-2,517 bC	-1,067 bA	-1,120 bAB
75 Dias				
Trat. Rega/ Ciclo	0C	1C	2C	3C
Controle	-0,683 abA	-0,583 abA	-1,013 aAB	-1,288 aB

E7	-0,350 aA	-0,417 aA	-1,217 aAB	-1,350 aB
E14	-1,117 bA	-1,317 bA	-1,388 aA	-1,783 aA

O teor de proteína nas plântulas controle em todos os ciclos apresentou comportamento semelhante, reduzido até os 45 dias (Figura 3A). Nesse período, os tratamentos 2C e 3C apresentaram acúmulo significativamente maior ($18,8 \pm 3,6$ e $15,6 \pm 3,6$ mg/gMF, respectivamente) que os demais ciclos (0C: $9,9 \pm 3,1$ e 1C: $8,5 \pm 2,9$ mg/gMF). No entanto, os valores máximos para esse soluto foram encontrados aos 60 dias, para as plântulas 2C ($48,5 \pm 14,5$ mg/gMF) e 3C ($51,1 \pm 17,6$ mg/gMF) não diferindo entre si, bem como do tratamento 0C ($34,8 \pm 10,4$ mg/gMF). Este também não diferiu das plantas 1C, cuja concentração foi inferior às demais ($26,4 \pm 9,9$ mg/gMF). Na análise seguinte, todos os ciclos de HD se igualaram, havendo um decréscimo significativo que fez com que o teor de proteínas retornasse a valores próximos aos encontrados no período inicial do experimento.

No tratamento E7, o aumento na concentração de proteína se deu a partir dos 30 dias, quando as plântulas 3C apresentaram valor significativamente maior que as demais (Figura 3B). No entanto, foi aos 60 dias que atingiram o pico de acúmulo desse soluto (0C: $35,6 \pm 11,7$; 2C: $40,7 \pm 10$ e 3C: $42,7 \pm 18,8$ mg/gMF), exceto as plântulas 1C, que mantiveram os valores baixos ($15,9 \pm 5,3$ mg/gMF). O mesmo ocorreu para as plântulas E14, onde aos 60 dias as plântulas 0C e 3C atingiram os maiores valores para a concentração de proteína ($54,0 \pm 16,7$ e $57,5 \pm 5,2$ mg/gMF, respectivamente) (Figura 3C). As plântulas 2C permaneceram com baixos teores ($22,5 \pm 12,3$ mg/gMF), enquanto as plântulas 1C apresentaram comportamento intermediário ($38 \pm 10,3$ mg/gMF). Em seguida, na última avaliação aos 75 dias, todos os ciclos baixaram significativamente a concentração de proteínas, não diferindo entre si.

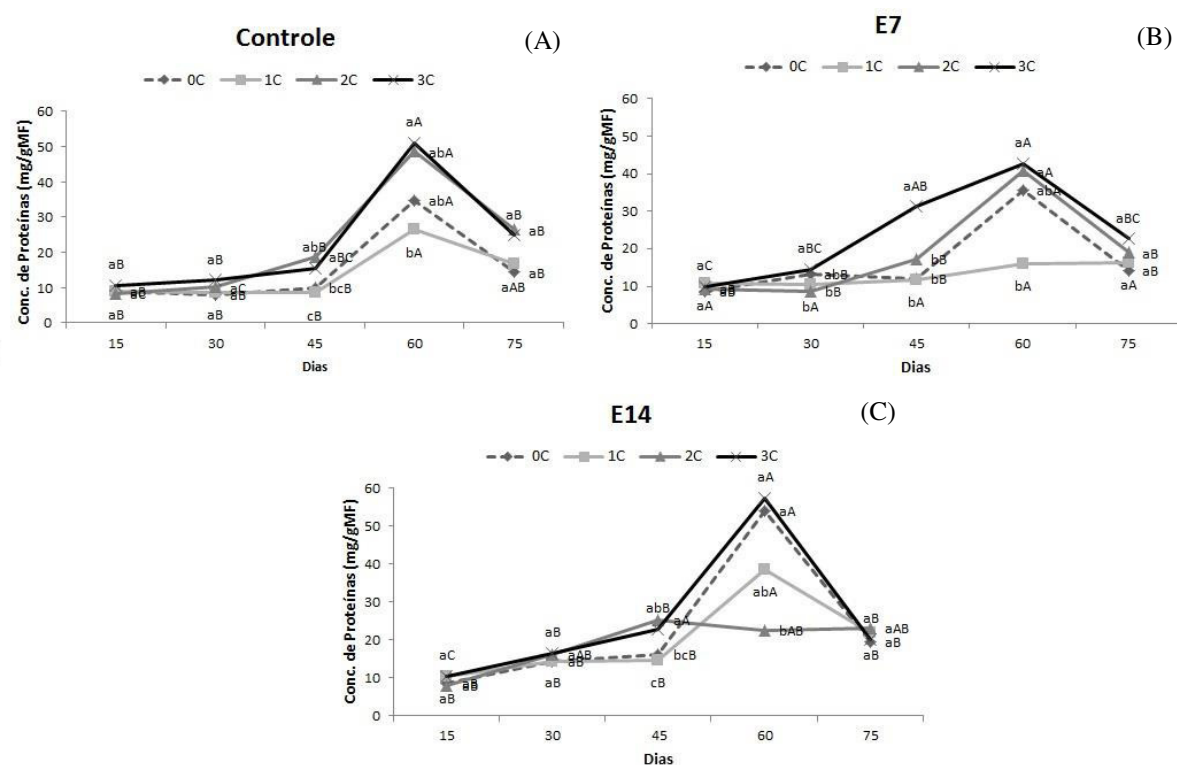


Figura 3 – Concentração de proteínas solúveis em folhas de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) cujas sementes passaram por tratamentos de hidratação descontínua, sob diferentes situações de restrição hídrica com ciclos de sete (E7) e quatorze (E14) dias de interrupção de rega. Letras minúsculas iguais, os ciclos não diferem entre si no dia de avaliação, letras maiúsculas iguais, a concentração não difere significativamente no mesmo ciclo, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Em relação ao acúmulo de carboidratos, houve aumento significativo nas plântulas controle em todos os ciclos (Figura 3). A concentração média aos 15 dias era de $3 \pm 0,3$ mmol/gMF e passou a $7 \pm 0,5$ mmol/gMF aos 60 dias (Figura 4A). O mesmo foi observado para as plântulas E7, não havendo diferença significativa entre os ciclos (Figura 4B). Para o sistema de suspensão de rega E14, aos 30 dias, as plântulas 2C diferiram das demais, atingindo o valor máximo observado para esse soluto ($10 \pm 1,5$ mmol/gMF) (Figura 4C). Em seguida, houve decréscimo a ponto de, aos 60 dias,

registrarem concentração significativamente menor que os demais ciclos. Ao final do experimento (75 dias), todos os ciclos reduziram a concentração de carboidratos, sendo semelhante estatisticamente ao que foi encontrado na primeira análise, aos 15 dias.

Quanto aos ciclos de rega, em análise individual de cada tratamento pré germinativo, não houve diferença entre a concentração de carboidratos ao longo das coletas entre os tratamentos de rega (controle, E7 e E14), exceto nas plântulas 2C, quando as plântulas E14 atingiram o pico de concentração aos 30 dias ($10,3 \pm 1,5$ mmol/gMF), enquanto as plântulas controle e E7 permaneceram com teor reduzido do soluto ($5 \pm 0,8$ e $4,4 \pm 0,5$ mmol/gMF, respectivamente). Para os demais ciclos, o acúmulo desse soluto entre plântulas regadas diariamente e plântulas sob restrição hídrica foi semelhante durante todo o período experimental.

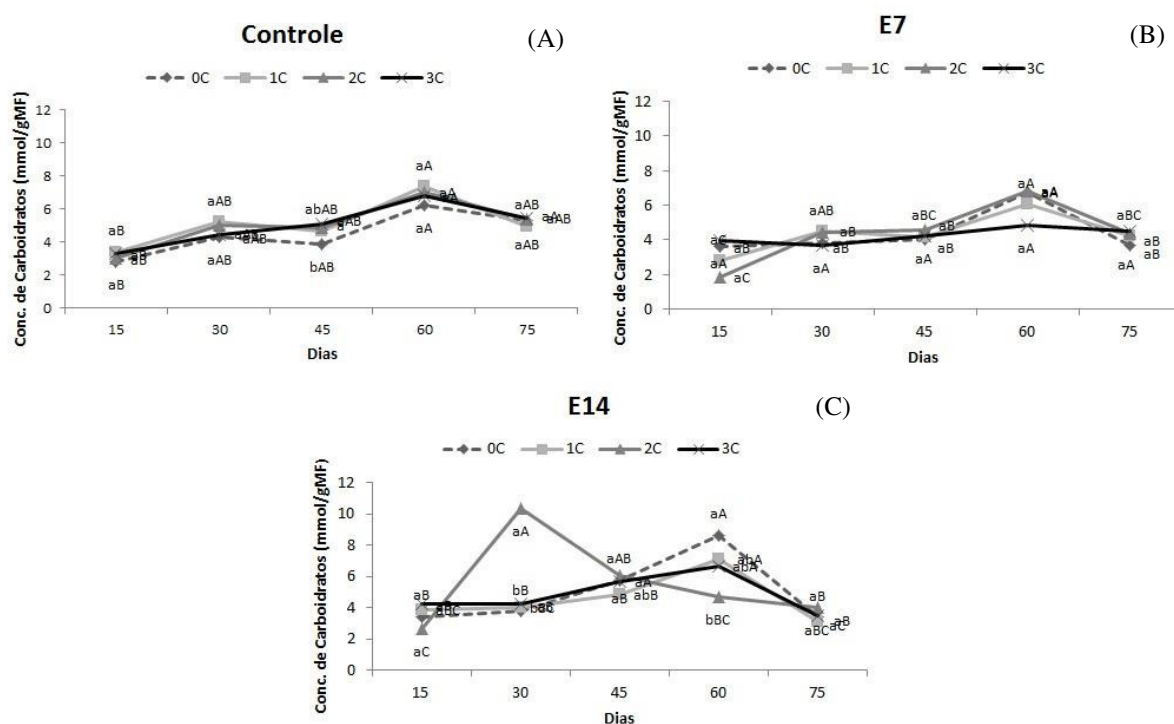


Figura 4 - Concentração de carboidratos em folhas de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) cujas sementes passaram por tratamentos de hidratação descontínua, sob diferentes situações de restrição hídrica com ciclos de

sete (E7) e quatorze (E14) dias de interrupção de rega. Letras minúsculas iguais, os ciclos não diferem entre si no dia de avaliação, letras maiúsculas iguais, a concentração não difere significativamente no mesmo ciclo, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Nas plântulas controle, o teor de prolina variou, em média, de $1,2 \pm 0,3 \mu\text{mol/gMF}$ a $0,8 \pm 0,2 \mu\text{mol/gMF}$ até os 45 dias de condução do experimento (Figura 5A). Aos 60 dias, houve um aumento de aproximadamente 90% em todos os ciclos, porém, apenas as plântulas 2C mantiveram esse acúmulo até a avaliação seguinte, aos 75 dias de tratamento. Sob intervalo de sete dias entre as regas (E7), o pico de acúmulo se deu aos 60 dias nas plantas 1C ($10,5 \pm 2,5 \mu\text{mol/gMF}$) e 2C ($11,8 \pm 2,4 \mu\text{mol/gMF}$) (Figura 5B). Esses valores correspondem a um aumento de aproximadamente 2 vezes comparado ao das plantas controle.

No sistema de rega E14, a partir dos 15 dias, já houve diferença significativa na concentração de prolina (Figura 5C). As plântulas 3C apresentaram uma média de $7,0 \pm 2,5 \mu\text{mol/gMF}$, valor bastante elevado em relação às demais. Porém, diferiu somente das plântulas 0C ($2,1 \pm 2 \mu\text{mol/gMF}$), não diferindo das plantas 1C e 2C ($2,7 \pm 1,4$ e $2,8 \pm 2,6 \mu\text{mol/gMF}$, respectivamente), apesar do valor baixo. Aos 30 dias, já foi observado o pico de concentração nas plantas 3C ($23 \pm 13 \mu\text{mol/gMF}$), representando um aumento de aproximadamente vezes em relação a controle $4,8 \pm 4 \mu\text{mol/gMF}$. Nas análises seguintes, a concentração caiu drasticamente para esse tratamento, sendo que, no último dia de análise, as plântulas 3C estavam com concentração significativamente menor que as demais ($7 \pm 1,5 \mu\text{mol/gMF}$). Já nas plântulas 0C e 1C, houve um aumento gradativo na concentração de prolina, que atingiu os valores máximos aos 60 dias ($16,2 \pm 9,8$ e $19 \pm 7 \mu\text{mol/gMF}$, respectivamente), mantendo esse acúmulo constante até o final do experimento.

Quanto aos intervalos de rega, o teor de prolina aumentou significativamente a partir dos 30 dias nas plântulas E14 para todos os ciclos pré-germinativos.

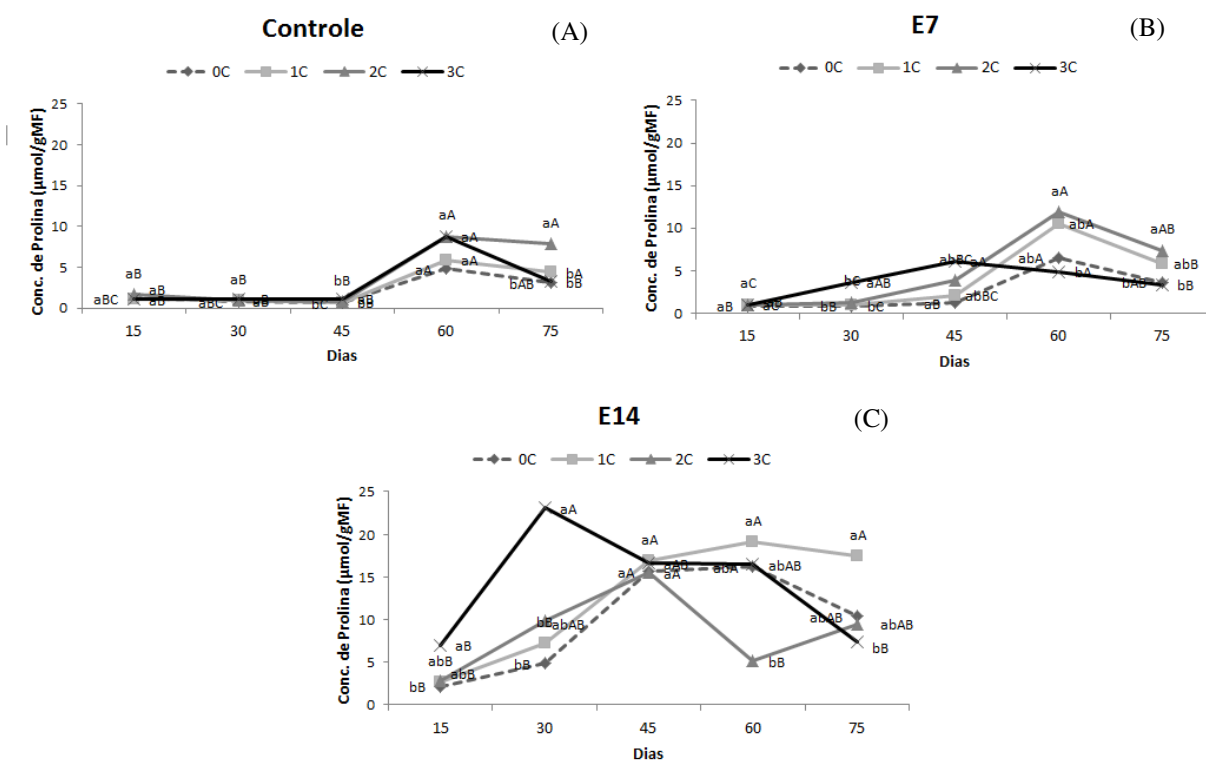


Figura 5 - Concentração de prolina livre em folhas de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) cujas sementes passaram por tratamentos de hidratação descontínua, sob diferentes situações de restrição hídrica com ciclos de sete (E7) e quatorze (E14) dias de interrupção de rega. Letras minúsculas iguais, os ciclos não diferem entre si no dia de avaliação, letras maiúsculas iguais, a concentração não difere significativamente no mesmo ciclo, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A concentração de proteína nas raízes foi muito baixa e, para as plântulas 0C, 1C e 2C não houve diferença entre os tratamentos de rega. As médias variaram de $0,6 \pm 0,4$ a $1,0 \pm 0,3$ mg/gMF (Figura 6A). Nas plântulas 3C, houve um teor significativamente superior às demais nas plântulas sob estresse E7 ($2 \pm 0,5$ mg/gMF) e E14 ($2,4 \pm 0,7$ mg/gMF). Para os carboidratos, houve diferença apenas nas plântulas 0C,

cujo acúmulo para todos os tratamentos hídricos (Controle: $2,4 \pm 0,9$ mg/gMF; E7: $3 \pm 1,2$ mg/gMF, E14: $3,4 \pm 1,4$ mg/gMF) foi superior às demais (Figura 6B). Nestas, a concentração variou de $0,74 \pm 0,09$ a $1,3 \pm 0,8$ mg/gMF. Em relação ao teor de prolina, a resposta das raízes foi semelhante às folhas. O acúmulo foi significativamente maior nas plantas sob déficit hídrico para todos os ciclos de HD (Figura 6C). Nas plântulas controle, a maior concentração foi de $6,4 \pm 2,7$ μ mol/gMF nas plantas 3C, que foi superior às controle dos demais ciclos. Para as E7, o maior valor encontrado foi das plantas 1C ($14,1 \pm 6,4$ μ mol/gMF) e, nas plântulas E14, foi de $26,8 \pm 10,9$ μ mol/gMF.

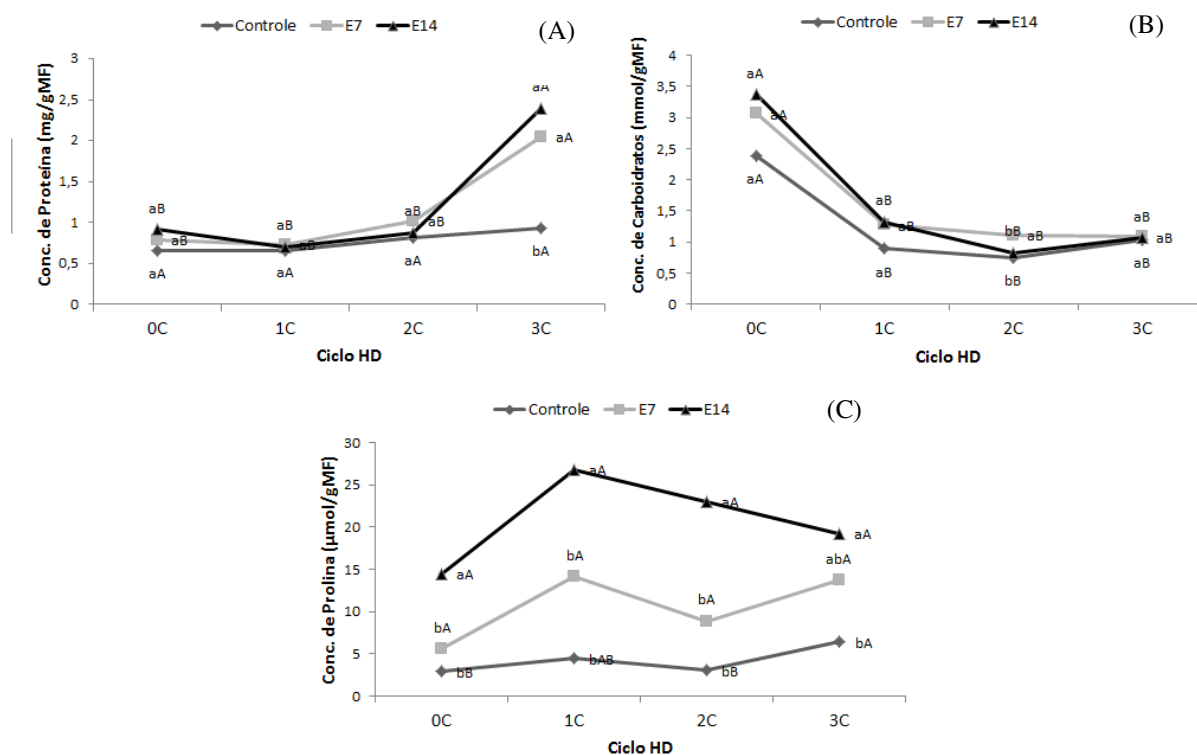


Figura 6 – Concentração de proteínas solúveis (A), carboidratos solúveis totais (B) e prolina livre (C) nas raízes de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) cujas sementes passaram por tratamentos de hidratação descontínua, sob diferentes situações de restrição hídrica com ciclos de sete (E7) e quatorze (E14) dias de interrupção de rega. Letras minúsculas iguais, os tratamentos hídricos não

diferem entre si no dia de avaliação, letras maiúsculas iguais, a concentração não difere significativamente no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Discussão

As mudas de *E. contortisiliquum* sob estresse conseguiram manter o teor relativo de água das células e, assim, se ajustar às condições estressantes as quais estavam sendo submetidas, a partir da redução do potencial hídrico das suas folhas. Isto pode ter ocorrido, entre outros fatores, pelo acúmulo de prolina que, dentre os solutos analisados neste estudo, foi o mais significativo em termos de concentração. As plântulas E14 apresentaram um aumento desse soluto, tanto nas folhas como nas raízes. Nas plântulas 1C houve um aumento de quase 600% no teor de prolina das plântulas E14 em relação às plântulas controle. O ajuste osmótico não é essa diminuição passiva do potencial osmótico à medida que a água é retirada das células, mas é o processo ativo de acumulação de soluto, além da concentração habitual. A magnitude dessa diminuição no potencial osmótico depende da elasticidade da parede celular e do tamanho da célula (TURNER, 2017). O grau de ajuste osmótico varia não apenas com as espécies, mas a taxa de secagem do solo ou da planta e o ambiente que envolve a planta (TURNER & JONES, 1980; BLUM, 2016).

O déficit hídrico, em geral, conduz a uma acumulação de solutos no citoplasma e no vacúolo das células vegetais, permitindo, desse modo, que elas mantenham a pressão de turgor a despeito dos baixos potenciais hídricos (TAIZ & ZEIGER, 2017). A principal função dos solutos compatíveis é evitar a perda de água para manter o turgor celular e manter o gradiente de potencial de água entre planta e solo, para absorção de água na célula. O ajuste osmótico e a regulação do turgor são funções bem definidas desses compostos nas plantas, uma vez que sua alta solubilidade atua como um

substituto das moléculas de água liberadas das folhas (SANTOS *et al.*, 2017). Como foi observado neste estudo, as folhas e raízes das plântulas sob estresse severo (E14) acumularam solutos, especialmente a prolina, permitindo, assim, a redução no potencial osmótico e aumento no potencial de turgescência da célula, mecanismo que facilita a absorção de água e a manutenção do crescimento celular. O ajustamento osmótico é significativo especialmente nos tecidos meristemáticos de raízes e folhas (SILVEIRA, 2010).

Embora muito se saiba sobre as vantagens que os ciclos de HD fornecem às espécies agronômicas em termos de vigor de plantas e produtividade (ARAUJO, 2011; GIURIZATTO, 2006; KIKUTI e MARCOS FILHO, 2009; PAIVA *et al.*, 2012), estudos com essa finalidade para espécies arbóreas nativas ainda são insipientes. Em experimento realizado por González-Zertuche *et al.* (2001), com *Wigandia urens* (Ruiz & Pavón) (Hydrophyllaceae), as sementes foram enterradas por um tempo relativamente prolongado e, provavelmente, suportaram flutuações das concentrações de oxigênio, temperatura e disponibilidade de água no solo. Os autores afirmaram ainda que os períodos alternativos de hidratação e secagem do solo podem representar um tratamento primário (em laboratório ou solo) bem sucedido para o recrutamento de mudas. Experimento semelhante foi realizado por Gamboa *et al.* (2006). Estes relatam que, enquanto as sementes estão no solo passando pelos processos de variações na temperatura e umidade, não só a dormência pode ser quebrada, mas as sementes também estão se preparando metabolicamente para a germinação oportuna, o que poderia aumentar a probabilidade de estabelecimento de plântulas e o uso eficiente de recursos durante a fase de crescimento.

A planta entra em estado de murcha quando a pressão de turgor dentro das células desses tecidos cai em direção à zero. À medida que a água é perdida pela célula,

suas paredes tornam-se mecanicamente deformadas e, como consequência, ela pode ser danificada (TAIZ & ZEIGER, 2017). As medições de potencial hídrico celular e de volume celular podem ser usadas para quantificar como as propriedades da parede celular influenciam o status hídrico de células vegetais (SILVA *et al.*, 2009; ALBUQUERQUE *et al.*, 2013).

Em estudo envolvendo o comportamento estomático realizado por Silva *et al.* (2003), as plântulas de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. e *E. contortisiliquum* aumentaram e mantiveram os valores de resistência dos estômatos à difusão do vapor de água (R_s) durante todo o período de estresse. Esse aumento reduziu a perda do vapor de água e também a entrada de CO_2 , demonstrando outra estratégia utilizada pela espécie para economizar a água existente no solo ao primeiro sinal de redução do seu conteúdo. De acordo com Silva *et al.* (2004), as espécies apresentam diferenças entre si nos mecanismos de manutenção da turgescência, tanto na capacidade de osmorregulação, como na substância de acúmulo de maior representatividade para que esse processo ocorra. As espécies estudadas por esses autores apresentaram mecanismos diferenciados para a sobreviverem aos períodos de seca. Algumas adotaram a manutenção de altos valores de R_s , como a *Jatropha pohliana* Müll.Arg., outras através do ajustamento osmótico, observado em *Caesalpinia pyramidalis* Tul., *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud. e *Cuscuta campestris* Yunck.

Essa redução do Ψ_w no grupo controle pode ter ocorrido também como uma preparação da plântula a um possível estresse ao qual ele já foi submetida, representado pelos ciclos de HD, ou a taxa de crescimento da mesma, como nas plantas 2C que apresentaram crescimento em altura superior às demais (dados não apresentados), o que demanda um maior volume de água absorvido e transpirado. Embora a transpiração não

tenha sido avaliada no presente trabalho, é possível que uma alta taxa de transpiração interfira nos valores de potencial hídrico nas plantas controle.

O acúmulo de carboidratos nas plantas pode variar em resposta aos estresses ambientais. Além do envolvimento direto na síntese de outros compostos e produção de energia, também estão envolvidos na estabilização das membranas. Os açúcares são importantes para a proteção contra a desidratação e podem funcionar como um osmoprotetor, estabilizando as membranas celulares e mantendo turgor (DEVI & SUJATHA, 2014). Neste estudo, a média das concentrações de carboidratos foi semelhante entre plantas com e sem estresse hídrico, não podendo ser verificada a função osmoprotetora para o *E. contortisiliquum*.

Em alguns casos, a partição de assimilados pode constituir uma estratégia de sobrevivência da planta, investindo parte das trioses fosfatadas produzidas pela fotossíntese na manutenção dos conteúdos de amido e utilizam a parte restante dessas trioses para a respiração foliar (SANTOS *et al.*, 2017). Esse mecanismo garante a reserva de carboidratos para a respiração, quando a produção de assimilados diminui, ao final da tarde, ou cessa, durante a noite. Além da respiração, sob condições de estresse, é comum que as plantas utilizem parte dos assimilados produzidos pela fotossíntese ou oriundos da degradação foliar do amido para estimular o crescimento do sistema radicular, buscando maior exploração da água do solo (PINHEIRO *et al.*, 2005).

Em relação ao acúmulo de proteínas, houve um padrão de comportamento tanto para os ciclos, quanto para os tratamentos de rega, nos quais os valores permaneciam constantes e, aos 60 dias, houve um pico de concentração e, logo em seguida, reduziu ao teor inicial. A redução da concentração de proteínas se deve, provavelmente, ao aumento da atividade da enzima proteases, que quebram as proteínas de reservas com o aumento do tempo de estresse, aumentando o teor de aminoácidos

solúveis totais das mesmas, no intuito de se ajustar osmoticamente ao meio estressante (LECHINOSKI *et al.*, 2007).

A observação de que o acúmulo de prolina ocorria em tecidos de plantas expostas à deficiência hídrica ocorreu pela primeira vez em 1953, nos Estados Unidos. A partir daí, muitos trabalhos mostraram que esse fenômeno ocorria em diversos organismos e em diferentes tipos de estresses. Criou-se, então, o paradigma de que prolina estaria envolvida com a proteção de plantas contra estresses tais como seca e salinidade (SILVEIRA, 2010). Diversos estudos sugerem que o acúmulo de prolina representa um mecanismo compensatório durante o período de estresse, que atua na proteção à desnaturação enzimática, protege a maquinaria de renovação de proteína e ainda contribui para a remoção de radicais livres e com isso as plantas têm uma maior taxa de sobrevivência (LIANG *et al.*, 2013, SILVA *et al.*, 2013, SZABADOS & SAVOURÉ, 2010).

Atualmente, sabe-se que o acúmulo de prolina fornece energia para a planta continuar se desenvolvendo sob condições de estresse (KUMAR *et al.*, 2011). Por esse motivo, o conteúdo de prolina é um bom indicador para a seleção de genótipos tolerantes à seca (RAHDARI *et al.*, 2012). Como foi visto por Silva (2010) analisando plantas jovens de *Jatropha curcas* (Pinhão manso), uma espécie de ocorrência no semiárido, as mesmas exibiram características de ajustamento osmótico em resposta ao estresse por seca, já que não se observou efeito do déficit hídrico sobre o teor relativo de água. Embora as plantas estressadas tenham acumulado significativamente mais prolina nas folhas, a quantidade registrada (aproximadamente 0,1% da osmolalidade) estava em um nível muito baixo para justificar o ajuste osmótico das plantas de *J. curcas*.

De acordo com Szabados & Savouré (2009), vários estudos atribuíram uma característica antioxidante à prolina, o tratamento com prolina pode proteger as células

humanas contra o estresse oxidativo cancerígeno e pode reduzir a peroxidação lipídica em células de algas expostas a metais pesados. Além de ter características protetoras ou de eliminação, é provável que o metabolismo da prolina possa estabilizar a homeostase celular durante as condições de estresse de alguma forma ainda pouco compreendida.

A sensibilidade de determinado processo fisiológico a déficits hídricos é, em grande parte, um reflexo da estratégia da planta em lidar com a faixa de variação na disponibilidade de água que ela experimenta em seu ambiente. Um dos processos mais afetados pelo déficit hídrico é o da expansão celular. Em muitas plantas, reduções no suprimento hídrico inibem o crescimento do caule e a expansão foliar, mas estimulam o alongamento das raízes (TAIZ E ZEIGER, 2017).

Para Avikishor *et al.* (2015), embora a prolina seja produzida em baixos níveis em todos os tecidos em condições não estressadas, é ativamente transportada para as raízes sob condições de estresse. Corroborando com o que foi encontrado neste estudo, onde o acúmulo de prolina nas raízes das plantas estressadas foi significativamente superior às plantas com boas condições hídricas, para todos os ciclos de HD, em especial as plantas 3C, cujo acúmulo foi elevado também nas plantas controle. Voetberg & Sharp (1991) também demonstraram que os níveis de prolina são elevados em áreas próximas ao ápice da raiz (crescendo a um potencial de água de -1,6 MPa), sendo que as taxas de alongamento das raízes foram mantidas sob uma série de condições de déficit hídrico. Os autores sugeriram que a deposição de prolina na zona de raiz é importante para o ajuste osmótico.

Neste estudo foi perceptível um favorecimento nas respostas ecofisiológicas do *E. contortisiliquum* sob estresse quando submetido a três ciclos. As plântulas 3C conseguiram manter o TRA do grupo que foi mantido sob diferentes períodos de déficit hídrico semelhante às plântulas controle, durante todo o período experimental. A

redução significativa do potencial hídrico no grupo controle chama atenção para a possível capacidade de preparação à seca, adquirido pela passagem das sementes aos ciclos. Porém, essa constatação só será possível com análises mais aprofundadas. É provável que os tempos de restrição sejam mais longos em condições naturais, dependendo da época do ano, região e tipo de substrato. Nesse sentido, uma extensão deste experimento que possa abranger um maior número de parâmetros ecofisiológicos parece promissor, pois pode revelar diferentes respostas à seca e padrões de aclimação que o *E. contortisiliquum* possa estar utilizando e quanto o hidrocondicionamento das sementes poderá interferir nessas variáveis.

Os resultados do presente estudo permitem inferir que o *E. contortisiliquum* é uma espécie que consegue manter o conteúdo relativo de água nos tecidos mesmo em situações de estresse hídrico, tendo o acúmulo de prolina como um osmólito osmorregulador. A passagem por três ciclos de HD favoreceu essa característica de tolerância pois, desde o início da restrição hídrica as plantas 3C acumularam maior quantidade deste soluto e assim mantiveram durante todo o período experimental o TRA das plantas estressadas semelhante às controle. Outro benefício deste tratamento pré germinativo nas sementes foi a redução do potencial hídrico foliar nas plantas controle 2C e 3C, mesmo em situação de boa disponibilidade hídrica, que pode ter sido uma forma de prevenção a uma possível seca. Estes resultados sugerem a ocorrência de memória hídrica das plântulas em resposta aos ciclos de HD.

Referências bibliográficas

ALBUQUERQUE, M. P. F.; MORAES, F. K. C.; SANTOS, R. I. N.; CASTRO, G. L. S.; RAMOS, E. M. L. S.; PINHEIRO, H. A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas a deficit hídrico e reidratação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 48(1), 9-16, 2013.

ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. O semiárido cearense e suas águas. In: Andrade et al. (eds), O Semiárido e o manejo dos recursos naturais. 1ed. **Fortaleza: Imprensa Universitária**, pp.71-94, 2010.

ARAÚJO, P. C.; TORRES, S. B.; BENEDITO, C. P.; PAIVA, E. P. Condicionamento fisiológico e vigor de sementes de maxixe. **Revista Brasileira de Sementes**, v 33, n 3, 2011.

ASHRAF, M., FOOLAD, M. R. Roles to glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, p.206-216, 2007.

AVIKISHOR, P.B.; HIMAKUMARI, P.; SUNITA, M.S.L.; SREENIVASULU, N. Role of proline in cell wall synthesis and plant development and its implications in plant ontogeny. **Front. Plant Sci.**, 20 July 2015.

BATES, L. S. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Short communication. **Plant and Soil**. v. 39, p. 205-207, 1973.

BLUM, A. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. **Plant, Cell & Environment**, v. 40:4 -10 2016.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**. v. 72, p. 248-254. 1976.

BRUCE, T. J. A., MATTHES, M. C., NAPIER, J. Á., PICKETT, J. A. Stressful “memories” of plants: Evidence and possible mechanisms. **Plant Science**. V. 173, p.603–608, 2007.

BUCCI, S. J., SCHOLZ, F. G., GOLDSTEIN, G., MEINZER, F. C., FRANCO, A. C., ZHANG, Y., & HAO, G. Y. Water relations and hydraulic architecture in Cerrado trees: adjustments to seasonal changes in water availability and evaporative demand. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 20(3), 233-245, 2008.

CAIRO, P. A. R. Curso básico de relações hídricas de plantas. Vitória da Conquista: UESB, 32p, 1995.

CONTRERAS-QUIROZ, M. D. R.; PANDO-MORENO, M.; FLORES, J.; E. JURADO. Effect of hydration and dehydration cycles on the germination of nine species of the Chihuahuan Desert. **Botanical sciences**, 94 (2) 221-228, 2016.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A. & SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**. v. 28, p. 350-356, 1956.

DUBROVSKY, J.G. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. **American Journal of Botany**, v. 83, p.624-632, 1996.

- DUBROVSKY, J.G. Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactus species of the Sonoran Desert. **Journal of the Torrey Botanical Society**. v.125, p.33-39, 1998.
- EIRA, M. T. S.; FREITAS, R. W. A. & MELLO, C. M. C. Superação da dormência de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* -Leguminosae. **Revista Brasileira de Sementes**, v.15, v.1,p.177-181, 1993.
- GAMBOA-DEBUENA, A.; CRUZ-ORTEGAA, R.; MARTÍNEZ-BARAJASB, E.; SÁNCHEZ-CORONADOA, M. E.; OROZCO-SEGOVIAA, A. Natural priming as an important metabolic event in the life history of *Wigandia urens* (Hydrophyllaceae) seeds. **Physiologia Plantarum**, 128: 520–530, 2006.
- GIURIZATTO, M. I. K. Physiological quality of soybean seeds submitted to the hydro conditioning. 2006. 46 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS, Dourados, 2006.
- GONZÁLEZ-ZERTUCHE, L.; VÁZQUEZ-YANES, C.; GAMBOA, A.; SÁNCHEZ-CORONADO, M. E., AGUILERA, P.; OROZCO-SEGOVIA, A. Natural priming of *Wigandia urens* seeds during burial: effects on germination, growth and protein expression. **Seed Science Research**. 11, 27–34, 2001.
- HEBLING, S.A. Aspectos ecofisiológicos da germinação de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vellozo) Morong. São Carlos, 1997. 143p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, 1997.
- KIKUTI, A. L. P.; MARCOS FILHO, J.. Condicionamento fisiológico de sementes de couve-flor. **Horticultura Brasileira**, v.27, n.2, p.240-245, 2009.
- KUMAR, R. R.; KARAJOL, K.; NAIK, G. R. Effect of polyethylene glycol induced water stress on physiological and biochemical responses in pigeon pea (*Cajanus cajan* L. Mill sp.). **Recent Research in Science and Technology**, 3(1): 148-152, 2011.
- LECHINOSKI, A.; FREITAS, J. M. N.; CASTRO, D. S.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CUNHA, R. L. M. Influência do estresse hídrico nos teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais em folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 927-929, 2007.
- LIANG, X.; ZHANG, L.; NATARAJAN, S. K.; BECKER, D. F. Proline Mechanisms of Stress Survival. **Antioxidants & Redox Signaling**, 19(9): 998-1011, 2013.
- LIMA, D. D. *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. Páginas 40-41 In: SIQUEIRA FILHO, J. Á.; MEIADO, M. V.; RABBANI, A. R. C.; SIQUEIRA, A. A.; VIEIRA, D. C. M. (orgs.) Guia de Campo de Árvores das Caatingas. Curitiba: **Editora Progressiva**. 2013.

LIMA, A. T. & MEIADO M. V. Discontinuous hydration alters seed germination under stress of two populations of cactus that occur in different ecosystems in Northeast Brazil. **Seed Science Research**, 27, 292–302, 2017.

LORENZI, H. Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5. ed. Nova Odessa: **Instituto Plantarum**, 384 f. v. 1. 2008.

LÚCIO, D. M.; DANTAS, S. G.; SANTOS, J. R. M.; PRAXEDES, S. C. Differences in water deficit adaptation during early growth of brazilian dry forest Caatinga trees. **Agriculture & Forestry**, Vol. 63, 2: 59-68, 2017.

MEIADO, M.V. Evidências de memória hídrica em sementes da Caatinga. In: Stelmann, J.R.; Isaias, R.M.S.; Modolo, L.V.; Vale, F.H.A. & Salino, A. (Orgs.). Anais do 64º Congresso Nacional de Botânica: botânica sempre viva. Belo Horizonte, **Sociedade Botânica do Brasil**, p. 89-94, 2013.

NASCIMENTO, J. P. B. Hidratação descontínua de sementes como nova alternativa para a produção de mudas destinadas à recuperação de ambientes degradados. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 75 f., 2016.

PAIVA, E. P.; TORRES, S. B.; BENEDITO, C. P.; ARAÚJO, P.C. Condicionamento fisiológico e vigor de sementes de melão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 55, n. 4, p. 332-337, nov. 2012.

PINHEIRO, H.A.; DAMATTA, F.M.; CHAVES, A.R.M.; LOUREIRO, M.E.; DUCATTI, C. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, v.96, p.101-108, 2005.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. 2017.

REIS, R. C. R., PELACANI, C. R., ANTUNES, C. G. C., DANTAS, B. F., & CASTRO, R. D. D. Physiological quality of *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. (Leguminosae-Papilionoideae) seeds subjected to different storage conditions. *Revista Árvore*, 36(2), 229-235, 2012.

REN, J. & TAO, L. Effect of hydration-dehydration cycles on germination of seven *Calligonum* species. **Journal of Arid Environments**, v. 55, p. 111-122, 2003.

SAKAMOTO, A, MURATA, N. The role of glycinebetaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. **Plant Cell and Environment**. v. 25, p.163-171, 2002.

SANTOS, H. R. B.; SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Initial growth and compatible solutes concentration in seedlings of two genotypes of *Psidium araca raddi* (myrtaceae) in response to water suppression. *Gaia Scientia*, v. 11(4): 45-56, 2017.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTREET, E. D. & HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants: negative hydrostatic pressure can be measured in plants. **Science**. v. 148, p. 339-346, 1965.

SILVA, E. C. & NOGUEIRA, R. J. M. C. Crescimento de quatro espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico em casa-de-vegetação. **Revista Ceres**, 50 (288): 203-217, 2003.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; BRITO, J. Z.; CABRAL, E. L. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. *Iheringia, Sér. Bot.*, v. 59, n. 2, p. 201-205, 2004.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; VALE, F. H. A.; MELO, N. F. & ARAÚJO, F. P. Water relations and organic solutes production in four umbu tree (*Spondias tuberosa*) genotypes under intermittent drought. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. v. 21, p. 43-53, 2009.

SILVA, E. N.; FERREIRA-SILVA, S. L., VIÉGAS, R. A., SILVEIRA, J. A. The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants. **Environmental and Experimental Botany**, 69: 279–285, 2010.

SILVA, E. C.; ALBUQUERQUE, M.B.; AZEVEDO NETO, A. D.; SILVA JUNIOR, C. D. Drought and Its Consequences to Plants – From Individual to Ecosystem. In: Akinci S. Ed. **Responses of organisms to water stress**. Croatia: InTech. p. 17-47, 2013.

SILVA, R. R., OLIVEIRA, D. R., DA ROCHA, G.P., & VIEIRA, D. L. M. Direct seeding of Brazilian savanna trees: effects of plant cover and fertilization on seedling establishment and growth. **Restoration Ecology**. 23: 393-401, 2015.

SILVEIRA, J. A. G.; ARAÚJO, S. A. M.; LIMA, J. P. M. S.; VIÉGAS, R. A. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex numularia*. *Environmental and Experimental Botany*, v.66, p.1-8, 2010.

SZABADOS, L. & SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science**. v.15, n. .2, 2009.

SZABADOS, L. & SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*. Vol.15 No.2, 2009. TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 6. Ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017.

TOBE, K.; ZHANG, L.; QIU, G. Y.; SHIMIZU, H.; OMASA, K. Characteristics of seed germination in five non-halophytic Chinese desert shrub species. **Journal of Arid Environments**, v.47, p. 191-201, 2001.

TURNER N.C. & JONES M.M. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. In *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress* (eds Turner N.C. & Kramer P.J.), pp. 87–103, 1980.

TURNER, N. C. Turgor maintenance by osmotic adjustment, an adaptive mechanism for coping with plant water deficits. **Plant, Cell and Environment**, v. 40, 1–3, 2017.

VELLOSO, A. L., SAMPAIO, E. V., GIULIETTI, A. M., BARBOSA, M. R. V., CASTRO, A. A. J. F., QUEIROZ, L. P. D., ... & SILVA, F. B. R. *ECORREGIÕES: Propostas para o Bioma Caatinga*. Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental; **The Nature Conservancy do Brasil**. Recife. 76 f., 2002.

ZHU, X.; GONG, H.; CHEN, G.; WANG, S. & ZANG, C. Different solute levels in two spring wheat cultivars induced by progressive field water stress at different developmental stages. **Journal of Arid Environment**. v. 62, p.1-14, 2005.

WEATHERLEY, P. Studies in the water relations of the cotton plant. **New Phytologist**, v. 49, n. 1, p. 81-97, 1950.

Weatherley, A. H., & Rogers, S. C. Some aspects of age and growth. 1978.